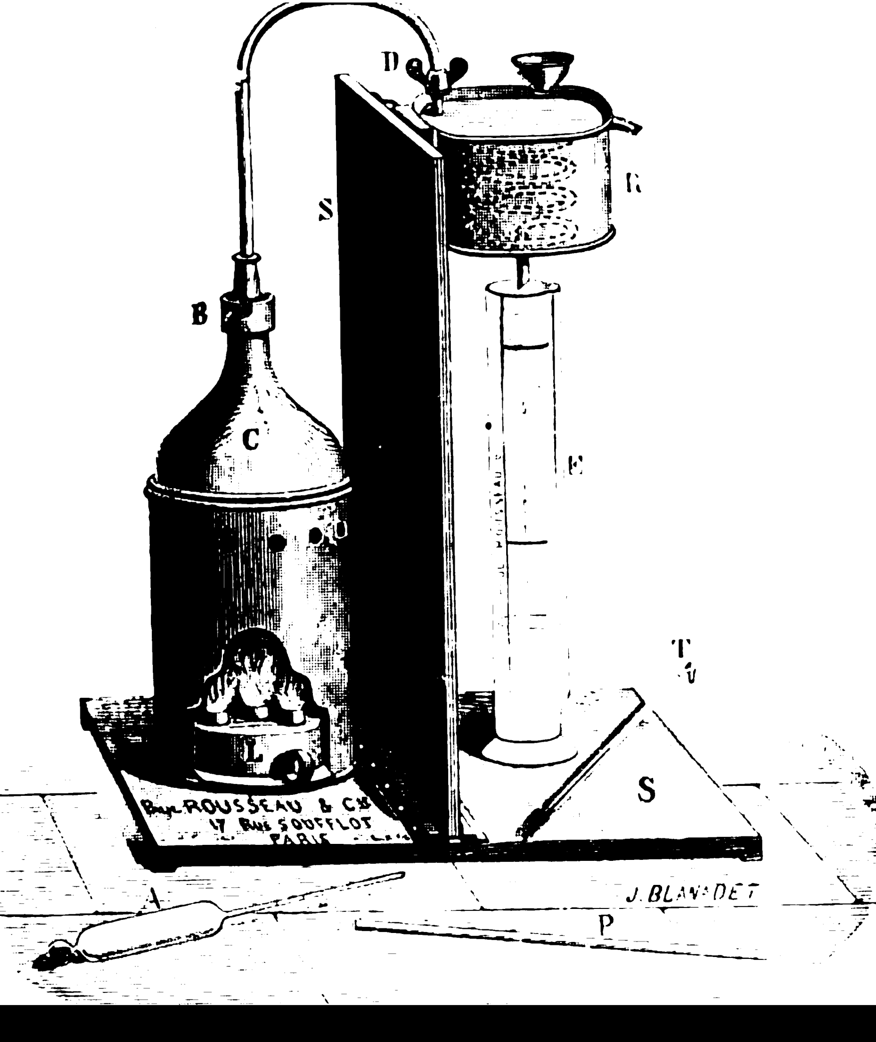
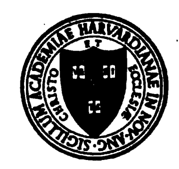


Manuel théorique & pratique des fabricantes d'alcools et d'eaux-de-vie

Emile Barbet


SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV-ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE

EXPOSITION UNIVERSELLE, PARIS 1889, MÉDAILLE D'OR

CARRÉ FILS AINÉ & Cie

Ingénieur-Constructeur de l'État, de la Ville de Paris et des Chemins de fer

PARIS — 127, quai d'Orsay — PARIS

ÉLÉVATIONS & DISTRIBUTIONS D'EAU

par l'air comprimé (br. s.g.d.g. système CARRÉ). Invention française pour distribuer en pression l'eau des puits, citernes, sources, rivières, etc.

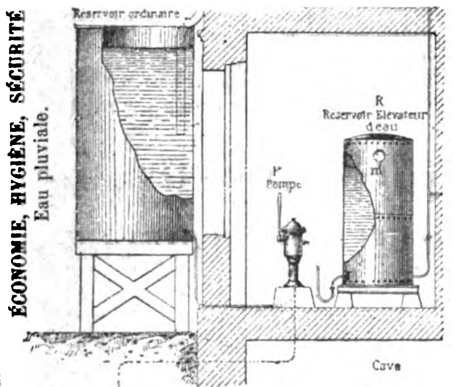
Nombreuses applications faites pour usines, châteaux, maisons de campagne

ARROSAGE EN PRESSION DES PARCS & JARDINS

Eau en pression pour Industrie, Incendie, Ascenseurs et Tout à l'égout.

Le système Carré supprime les Réservoirs en élévation

ÉCONOMIE, HYGIÈNE, SÉCURITÉ
Eau pluviale.



LE RESERVOIR-ÉLEVATEUR
Brevet CARRÉ
(Voir *Génie Civil*, 12 mars 1892)

S'installe en sous-sol ou sur le sol;
Évite surcharges et débordements;
Donne eau fraiche en été;
Sécurité contre les gelées;
Économie d'installation.

L'eau pluviale et l'eau d'un puits ou d'une citerne est distribuée en pression à tous les étages par l'appareil Carré.

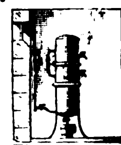
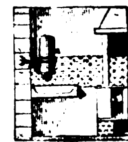
PAS DE FRAIS D'ENTRETIEN.

Marche à bras, à manège ou moteur quelconque.

Envoi franco Devis et Albums sur demande.

FILTRAGE & STÉRILISATION DES EAUX

Système CARRÉ, breveté s.g.d.g.

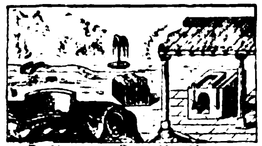




Filtre en cave. Filtre en cuisine

TRAVAUX EN CIMENT

AVEC OU SANS OSSATURE

pour Usines et décoration de Parcs ou Jardins.



Dallages. Canalisations.


SPECIALITÉ
d'Articles en Bronze
pour
SUCRERIES & DISTILLERIES
ROBINETS
SOUPAPES
GARNITURES
de
MACHINES à VAPEUR et de GÉNÉRATEURS
THERMOMÈTRES A ÉCHELLE DIFFÉRENTIELLE
FONDERIE DE BRONZE
LILLE
J. DEFAYS & CIE, 212, rue Léon-Gambetta

ALAMBICS A DISTILLATION CONTINUE

Système ESTÈVE breveté s.g.d.g.

F. BESNARD* PÈRE FILS & GENDRES

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

28, rue Geoffroy-Lasnier, 28

PARIS

DISTILLATION DE TOUS LIQUIDES FERMENTÉS

VINS, CIDRES, PIQUETTES, LIES, ETC.

donnant une eau-de-vie de qualité supérieure, rectifiée du 1er jet sans repasse

---

GRANDE PRODUCTION, PETIT VOLUME

28 PREMIERS PRIX EN 1893-94



TRAVAIL JOURNALIER

ET PRIX DES APPAREILS

Type A	90	litres —	Prix :	65 fr.
— B	180	—	—	130 —
— C	270	—	—	185 —
— D	600	—	—	340 —
— E	1200	—	—	650 —

ALAMBICS étamés avec Serpentins **PLAQUÉS ARGENT** donnant une grande finesse de goût dans les eaux-de-vie.

Envoi franco du catalogue sur demande

LAMPES, FOURNEAUX A PÉTROLE, SUSPENSIONS, LANTERNES

PULVÉRISATEURS PERFECTIONNÉS

E. BREHIER & C[IE]

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS (Brevetés S. G. D. G.)

50 & 52, rue de l'Ourcq, PARIS

MÉDAILLE D'OR, PARIS 1889



Simple à feu nu.

DISTILLERIES
AGRICOLES

DE TOUS GENRES ET DE TOUS SYSTÈMES.

PASTEURISATION DES VINS

Envoi franco de Catalogues sur demande.



Chauffe-vin à feu nu.



Chauffe-vin sur voiture.



Distillation
continue à vapeur saturée



A Monsieur

Affectueux souvenir

E. [illegible]

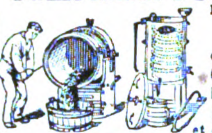
MANUEL THÉORIQUE & PRATIQUE

DES

FABRICANTS D'ALCOOLS

ET D'EAUX-DE-VIE

ALAMBICS DEROY



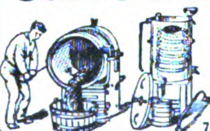
Nouveaux Types d'Appareils
à DISTILLER et à RECTIFIER
de **DEROY FILS AINÉ**
Constr, 73, 75, 77, r. du Théâtre, PARIS
MÉD. d'OR, *Exp. Univ., Paris 1889*
GUIDE PRATIQUE du Bouilleur
et du Distillateur et *Tarif Franco*.

SIMPLEX

NOUVEL ALAMBIC DEROY
pour PROPRIÉTAIRES et Petits Producteurs
Eau-de-Vie Supre, avec ou sans repasse
distill. Fruits, Vins, Cidres, Marcs, Lies, etc.
VENTE CONDITIONNELLE A L'ESSAI
GUIDE PRATIQUE du Distillateur et TARIF franco.
DEROY Fils Aîné, Constructeur
73. 75. 77, Rue du Théâtre. PARIS.

GUIDE PRATIQUE DU BOUILLEUR

et du **DISTILLATEUR**



donnant les meilleures Méthodes
pour la Distillation du *Cognac*, des
Eaux-de-Vie diverses et *Essences*,
décrivant les *Appareils* les mieux
appropriés pour ces usages.
Envoyé Gratis *et* Franco *par*
DEROY FILS AINÉ
75, *Rue du Théâtre-Grenelle, PARIS*

FILTRES PHILIPPE

Breveté S. G. D. G.
PARIS 1891 — HORS CONCOURS — MEMBRE DU JURY
PARIS 1892 ET 1893 — DEUX DIPLOMES D'HONNEUR.

Filtres fixes ou mobiles de toutes grandeurs pour tous liquides



Eaux, Vins, Alcools, Sirops,
Produits chimiques,
Huiles, Sucreries, Raffineries,
Distilleries.

Filtres à pression
à simple et double filtration
Spéciaux pour ALCOOLS et EAUX-DE-VIE

A. PHILIPPE

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR
124, boulevard Magenta, PARIS.

Filtre fixe pour Sucreries, Raffineries et grands débits.

MANUEL

THÉORIQUE & PRATIQUE

DES

FABRICANTS D'ALCOOLS

ET D'EAUX-DE-VIE

PAR

E. BARBET et G. ARACHEQUESNE

INGÉNIEURS DES ARTS ET MANUFACTURES



PARIS

LIBRAIRIE E. BERNARD & Cie

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter

1894

AVERTISSEMENT

Dans toutes les branches de l'industrie, les fabricants manifestent une prédilection toute spéciale pour les ouvrages techniques publiés sous forme d'agendas ou de manuels.

Quoi de plus commode et de plus pratique, en effet, que ces petits livres d'une forme élégante qui contiennent tous les renseignements scientifiques ou professionnels dont on peut avoir besoin ? Un manuel est un dictionnaire de poche, un aide-mémoire, un auxiliaire fidèle, où l'on trouve réponse immédiate et précise aux mille problèmes si variés qu'apporte la pratique journalière de l'industrie sous ses divers aspects, technologie proprement dite, chimie, mécanique et partie commerciale.

Sous peine de devenir trop volumineux, le manuel doit éviter les longues descriptions réservées aux ouvrages didactiques ; il doit rester un livre de consultation, quitte à renvoyer le lecteur aux mémoires originaux où se trouvent les développements complets dont il peut avoir besoin.

Tel est le principe dont nous avons essayé de ne pas nous départir dans le présent ouvrage. Ce livre nous a semblé répondre à un besoin réel, car il n'existe

pas encore de publication de ce genre concernant la *Distillerie*. Nous ne faisons en cela que suivre la voie qu'ont si brillamment tracée dans l'industrie de la *Sucrerie* les Stammer, Spenlé, Pellet et Biard, Gallois et Dupont, etc. Puissions-nous ne pas leur être jugés trop inférieurs !

Notre ouvrage est divisé en trois parties :

La première renferme des notes et formules de mathématiques, des renseignements commerciaux et les clefs indispensables à la lecture des principales mercuriales étrangères, les documents relatifs à la construction, à la physique et à la chimie qui intéressent plus spécialement le distillateur.

La seconde partie étudie tous les principes généraux de la technologie distillatoire ; elle donne l'état actuel de nos connaissances sur les matières premières, l'alcoométrie, les ferments solubles et organisés, sur la théorie de la distillation et de la rectification. Cette technologie a été l'objet de tous nos soins et nous croyons qu'elle comblera une véritable lacune, car les traités de distillation édités jusqu'à présent n'ont pas su dégager avec netteté les grandes lois actuellement acquises à la science.

La troisième partie est la partie descriptive et industrielle.

La distillerie se divise en un nombre si varié de branches différentes, selon la matière première employée, qu'il faudrait une monographie complète pour chaque cas particulier. Nous n'avons pas cru qu'un manuel pût entrer dans de tels développements ; en raison de la grande diversité des lecteurs auxquels nous nous adressons, mieux valait, comme nous l'avons fait dans la deuxième partie, nous étendre plus complaisamment sur les généralités indispensables à tous les distillateurs.

C'est donc un peu brièvement que, dans la troisième partie, nous avons passé en revue successivement toutes les matières alcoolisables, agricoles ou non, décrit les

particularités de leur travail, et établi les meilleurs modes d'utilisation des résidus divers, principalement des matières alimentaires pour le bétail.

Nous y avons ajouté des exemples de comptabilité des rendements, de contrôle chimique journalier.

Tel est le programme que nous nous sommes efforcés de remplir. La forme de manuel que nous avons choisie nous permettra de tenir compte plus facilement des vœux qui pourront nous être transmis par nos lecteurs en vue de compléter les éditions successives de cet ouvrage. Nous sollicitons très sincèrement les observations des ingénieurs et des industriels, et nous serons très heureux s'ils veulent bien de cette façon manifester leur estime pour notre « *Manuel théorique et pratique des Fabricants d'Alcools et d'Eaux-de-vie.* »

E. Barbet G. Arachequesne

MANUEL
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DES
FABRICANTS D'ALCOOLS
ET D'EAUX-DE-VIE

PREMIÈRE PARTIE

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

CHAPITRE PREMIER

Nous réunissons dans cette première partie les renseignements dont on a journellement besoin dans l'Industrie, c'est-à-dire des Documents mathématiques, des Documents commerciaux, et d'autres relatifs à la Construction, à la Physique et à la Chimie.

DOCUMENTS MATHÉMATIQUES

(1) Table des Carrés, Cubes, Racines carrées et cubiques, Inverses, Logarithmes, Circonférences et Cercles de 1 à 100.

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
0	0	0	0,0000	0,0000	∞	— ∞	0,0	0,000	0,0000
1	1	1	1,0000	1,0000	1,00000	0,0000	0,1	0,314	0,0079
2	4	8	1,4142	1,2599	0,50000	0,3010	2	0,628	0,0314
3	9	27	1,7321	1,4422	0,33333	0,4771	3	0,942	0,0707
4	16	64	2,0000	1,5874	0,25000	0,6021	4	1,257	0,1257
5	25	125	2,2361	1,7100	0,20000	0,6989	5	1,571	0,1964
6	36	216	2,4495	1,8171	0,16667	0,7781	6	1,885	0,2827
7	49	343	2,6458	1,9129	0,14286	0,8451	7	2,199	0,3848
8	64	512	2,8284	2,0000	0,12500	0,9031	8	2,513	0,5026
9	81	729	3,0000	2,0801	0,11111	0,9542	9	2,827	0,6362
10	100	1000	3,1623	2,1544	0,10000	1,0000	1,0	3,142	0,7854
11	121	1331	3,3166	2,2240	0,09091	1,0414	1	3,456	0,9503
12	144	1728	3,4641	2,2894	0,08333	1,0792	2	3,770	1,1310
13	169	2197	3,6056	2,3513	0,07692	1,1139	3	4,084	1,3273
14	196	2744	3,7417	2,4101	0,07143	1,1461	4	4,398	1,5394
15	225	3375	3,8720	2,4662	0,06667	1,1761	5	4,712	1,7671
16	256	4096	4,0000	2,5198	0,06250	1,2041	6	5,027	2,0106
17	289	4913	4,1231	2,5713	0,05882	1,2304	7	5,341	2,2698
18	324	5832	4,2426	2,6207	0,05556	1,2553	8	5,655	2,5447
19	361	6859	4,3589	2,6684	0,05263	1,2788	9	5,969	2,8353
20	400	8000	4,4721	2,7144	0,05000	1,3010	2,0	6,283	3,1416
21	441	9261	4,5826	2,7589	0,04762	1,3222	1	6,597	3,4636
22	484	10648	4,6904	2,8020	0,04545	1,3424	2	6,912	3,8013
23	529	12167	4,7958	2,8439	0,04348	1,3617	3	7,226	4,1548
24	576	13824	4,8990	2,8845	0,04167	1,3802	4	7,540	4,5239
25	625	15625	5,0000	2,9240	0,04000	1,3979	5	7,854	4,9087
26	676	17576	5,0990	2,9625	0,03846	1,4149	6	8,168	5,3093
27	729	19683	5,1962	3,0000	0,03704	1,4314	7	8,482	5,7256
28	784	21952	5,2915	3,0366	0,03571	1,4472	8	8,796	6,1575
29	841	24389	5,3852	3,0723	0,03448	1,4624	9	9,111	6,6052
30	900	27000	5,4772	3,1072	0,03333	1,4771	3,0	9,425	7,0686
31	961	29791	5,5678	3,1414	0,03226	1,4914	1	9,739	7,5477
32	1024	32768	5,6569	3,1748	0,03125	1,5051	2	10,05	8,0425
33	1089	35937	5,7446	3,2075	0,03030	1,5185	3	10,37	8,5530
34	1156	39304	5,8310	3,2396	0,02941	1,5315	4	10,68	9,0792
35	1225	42875	5,9161	3,2711	0,02857	1,5441	5	11,00	9,6211
36	1296	46656	6,0000	3,3019	0,02778	1,5563	6	11,31	10,1790
37	1369	50653	6,0828	3,3322	0,02703	1,5682	7	11,62	10,752
38	1444	54872	6,1644	3,3620	0,02632	1,5798	8	11,94	11,341
39	1521	59319	6,2450	3,3912	0,02564	1,5911	9	12,25	11,946
40	1600	64000	6,3246	3,4200	0,02500	1,6021	4,0	12,57	12,566
41	1681	68921	6,4031	3,4482	0,02439	1,6128	1	12,88	13,203
42	1764	74088	6,4807	3,4760	0,02381	1,6232	2	13,19	13,854
43	1849	79507	6,5574	3,5034	0,02326	1,6335	3	13,51	14,522
44	1936	85184	6,6332	3,5303	0,02273	1,6434	4	13,82	15,205
45	2025	91125	[illegible]	3,5569	0,02222	1,6532	5	14,14	15,904

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
46	2116	97336	6,7823	3,5830	0,02174	1,6628	6	14,45	16,619
47	2209	103823	6,8557	3,6088	0,02128	1,6721	7	14,77	17,349
48	2304	110592	6,9282	3,6342	0,02083	1,6812	8	15,08	18,096
49	2401	117649	7,0000	3,6593	0,02041	1,6902	9	15,39	18,857
50	2500	125000	7,0711	3,6840	0,02000	1,6990	5,0	15,71	19,635
51	2601	132651	7,1414	3,7084	0,01961	1,7076	1	16,02	20,428
52	2704	140608	7,2111	3,7325	0,01923	1,7160	2	16,34	21,237
53	2809	148877	7,2801	3,7563	0,01887	1,7243	3	16,65	22,062
54	2916	157464	7,3485	3,7798	0,01852	1,7324	4	16,96	22,902
55	3025	166375	7,4162	3,8030	0,01818	1,7404	5	17,28	23,758
56	3136	175616	7,4833	3,8259	0,01786	1,7482	6	17,59	24,630
57	3249	185193	7,5498	3,8485	0,01754	1,7559	7	17,91	25,518
58	3364	195112	7,6158	3,8709	0,01724	1,7634	8	18,22	26,421
59	3481	205379	7,6811	3,8930	0,01695	1,7708	9	18,54	27,340
60	3600	216000	7,7460	3,9149	0,01667	1,7781	6,0	18,85	28,274
61	3721	226981	7,8102	3,9365	0,01639	1,7853	1	19,16	29,225
62	3844	238328	7,8740	3,9579	0,01613	1,7924	2	19,48	30,191
63	3969	250047	7,9373	3,9791	0,01587	1,7993	3	19,79	31,172
64	4096	262144	8,0000	4,0000	0,01563	1,8062	4	20,11	32,170
65	4225	274625	8,0623	4,0207	0,01538	1,8129	5	20,42	33,183
66	4356	287496	8,1240	4,0412	0,01515	1,8195	6	20,73	34,212
67	4489	300763	8,1854	4,0615	0,01493	1,8261	7	21,05	35,257
68	4624	314432	8,2462	4,0817	0,01471	1,8325	8	21,36	36,317
69	4761	328509	8,3066	4,1016	0,01449	1,8388	9	21,68	37,393
70	4900	343000	8,3666	4,1213	0,01429	1,8451	7,0	21,99	38,485
71	5041	357911	8,4261	4,1408	0,01408	1,8512	1	22,31	39,592
72	5184	373248	8,4853	4,1602	0,01389	1,8573	2	22,62	40,715
73	5329	389017	8,5440	4,1793	0,01370	1,8633	3	22,93	41,854
74	5476	405224	8,6023	4,1983	0,01351	1,8692	4	23,25	43,008
75	5625	421875	8,6603	4,2172	0,01333	1,8751	5	23,56	44,179
76	5776	438976	8,7178	4,2358	0,01316	1,8808	6	23,88	45,365
77	5929	456533	8,7750	4,2543	0,01299	1,8865	7	24,19	46,566
78	6084	474552	8,8318	4,2727	0,01282	1,8921	8	24,50	47,784
79	6241	493039	8,8882	4,2908	0,01266	1,8976	9	24,82	49,017
80	6400	512000	8,9443	4,3089	0,01250	1,9031	8,0	25,13	50,265
81	6561	531441	9,0000	4,3267	0,01235	1,9085	1	25,45	51,530
82	6724	551368	9,0554	4,3445	0,01220	1,9138	2	25,76	52,810
83	6889	571787	9,1104	4,3621	0,01205	1,9191	3	26,08	54,106
84	7056	592704	9,1652	4,3795	0,01190	1,9243	4	26,39	55,418
85	7225	614125	9,2195	4,3968	0,01176	1,9294	5	26,70	56,745
86	7396	636056	9,2736	4,4140	0,01163	1,9345	6	27,02	58,088
87	7569	658503	9,3274	4,4310	0,01149	1,9395	7	27,33	59,447
88	7744	681472	9,3808	4,4480	0,01136	1,9445	8	27,65	60,821
89	7921	704969	9,4340	4,4647	0,01124	1,9494	9	27,96	62,211
90	8100	729000	9,4868	4,4814	0,01111	1,9542	9,0	28,27	63,617
91	8281	753571	9,5394	4,4979	0,01099	1,9590	1	28,59	65,039
92	8464	778688	9,5917	4,5144	0,01087	1,9638	2	28,90	66,476
93	8649	804357	9,6437	4,5307	0,01075	1,9685	3	29,22	67,929
94	8836	830584	9,6954	4,5468	0,01064	1,9731	4	29,53	69,398
95	9025	857375	9,7468	4,5629	0,01053	1,9777	5	29,85	70,882
96	9216	884736	9,7980	4,5789	0,01042	1,9823	6	30,16	72,382
97	9409	912673	9,8489	4,5947	0,01031	1,9868	7	30,47	73,898
98	9604	941192	9,8995	4,6104	0,01020	1,9912	8	30,79	75,430
99	9801	970299	9,9499	4,6261	0,01010	1,9956	9	31,10	76,977
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	0,01000	2,0000	10,0	31,42	78,540

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
101	10201	1030301	10,0499	4,6570	0,00990	2,0043	1	31,73	80,118
102	10404	1061208	10,0995	4,6723	0,00980	2,0086	2	32,04	81,713
103	10609	1092727	10,1489	4,6875	0,00971	2,0128	3	32,36	83,323
104	10816	1124864	10,1980	4,7027	0,00962	2,0170	4	32,67	84,949
105	11025	1157625	10,2470	4,7177	0,00952	2,0212	5	32,99	86,590
106	11236	1191016	10,2956	4,7326	0,00943	2,0253	6	33,30	88,247
107	11449	1225043	10,3441	4,7475	0,00935	2,0294	7	33,62	89,920
108	11664	1259712	10,3923	4,7622	0,00926	2,0334	8	33,93	91,609
109	11881	1295029	10,4403	4,7769	0,00917	2,0374	9	34,24	93,313
110	12100	1331000	10,4881	4,7914	0,00909	2,0414	11,0	34,56	95,033
111	12321	1367631	10,5357	4,8059	0,00901	2,0453	1	34,87	96,769
112	12544	1404928	10,5830	4,8203	0,00893	2,0492	2	35,19	98,520
113	12769	1442897	10,6301	4,8346	0,00885	2,0531	3	35,50	100,287
114	12996	1481544	10,6771	4,8488	0,00877	2,0569	4	35,81	102,070
115	13225	1520875	10,7238	4,8629	0,00870	2,0607	5	36,13	103,869
116	13456	1560896	10,7703	4,8770	0,00862	2,0645	6	36,44	105,683
117	13689	1601613	10,8167	4,8910	0,00855	2,0682	7	36,76	107,513
118	13924	1643032	10,8628	4,9049	0,00847	2,0719	8	37,07	109,359
119	14161	1685159	10,9087	4,9187	0,00840	2,0755	9	37,38	111,220
120	14400	1728000	10,9545	4,9324	0,00833	2,0792	12,0	37,70	113,097
121	14641	1771561	11,0000	4,9461	0,00826	2,0828	1	38,01	114,990
122	14884	1815848	11,0454	4,9597	0,00820	2,0864	2	38,33	116,899
123	15129	1860867	11,0905	4,9732	0,00813	2,0899	3	38,64	118,823
124	15376	1906624	11,1355	4,9866	0,00806	2,0934	4	38,96	120,763
125	15625	1953125	11,1803	5,0000	0,00800	2,0969	5	39,27	122,719
126	15876	2000376	11,2250	5,0133	0,00794	2,1004	6	39,58	124,690
127	16129	2048383	11,2694	5,0265	0,00787	2,1038	7	39,90	126,677
128	16384	2097152	11,3137	5,0397	0,00781	2,1072	8	40,21	128,680
129	16641	2146689	11,3578	5,0528	0,00775	2,1106	9	40,53	130,698
130	16900	2197000	11,4018	5,0658	0,00769	2,1139	13,0	40,84	132,733
131	17161	2248091	11,4455	5,0788	0,00763	2,1173	1	41,15	134,782
132	17424	2299968	11,4891	5,0916	0,00758	2,1206	2	41,47	136,848
133	17689	2352637	11,5326	5,1045	0,00752	2,1238	3	41,78	138,929
134	17956	2406104	11,5758	5,1172	0,00746	2,1271	4	42,10	141,026
135	18225	2460375	11,6190	5,1299	0,00741	2,1303	5	42,41	143,139
136	18496	2515456	11,6619	5,1426	0,00735	2,1335	6	42,73	145,267
137	18769	2571353	11,7047	5,1551	0,00730	2,1367	7	43,04	147,412
138	19044	2628072	11,7473	5,1676	0,00725	2,1399	8	43,35	149,572
139	19321	2685619	11,7898	5,1801	0,00719	2,1430	9	43,67	151,747
140	19600	2744000	11,8322	5,1925	0,00714	2,1461	14,0	43,98	153,938
141	19881	2803221	11,8743	5,2048	0,00709	2,1492	1	44,30	156,145
142	20164	2863288	11,9164	5,2171	0,00704	2,1523	2	44,61	158,368
143	20449	2924207	11,9583	5,2293	0,00699	2,1553	3	44,92	160,606
144	20736	2985984	12,0000	5,2415	0,00694	2,1584	4	45,24	162,861
145	21025	3048625	12,0416	5,2536	0,00690	2,1614	5	45,55	165,130
146	21316	3112136	12,0830	5,2656	0,00685	2,1643	6	45,87	167,415
147	21609	3176523	12,1244	5,2776	0,00680	2,1673	7	46,18	169,717
148	21904	3241792	12,1655	5,2896	0,00676	2,1703	8	46,50	172,034
149	22201	3307949	12,2066	5,3015	0,00671	2,1732	9	46,81	174,367
150	22500	3375000	12,2474	5,3133	0,00667	2,1761	15,0	47,12	176,715
151	22801	3442951	12,2882	5,3251	0,00662	2,1790	1	47,44	179,079
152	23104	3511808	12,3288	5,3368	0,00658	2,1818	2	47,75	181,459
153	23409	3581577	12,3693	5,3485	0,00654	2,1847	3	48,07	183,854
154	23716	3652264	12,4097	5,3601	0,00649	2,1875	4	48,38	186,265
155	24025	3723875	12,4499	5,3717	0,00645	2,1903	5	48,69	188,692

n	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
156	24336	3796416	12,4900	5,3832	0,00641	2,1931	6	49,01	191,13
157	24649	3869893	12,5300	5,3947	0,00637	2,1959	7	49,32	193,59
158	24964	3944312	12,5698	5,4061	0,00633	2,1987	8	49,64	196,07
159	25281	4019679	12,6095	5,4175	0,00629	2,2014	9	49,95	198,56
160	25600	4096000	12,6491	5,4288	0,00625	2,2041	16,0	50,27	201,06
161	25921	4173281	12,6886	5,4401	0,00621	2,2068	1	50,58	203,58
162	26244	4251528	12,7279	5,4514	0,00617	2,2095	2	50,89	206,12
163	26569	4330747	12,7671	5,4626	0,00613	2,2122	3	51,21	208,67
164	26896	4410944	12,8062	5,4737	0,00610	2,2148	4	51,52	211,24
165	27225	4492125	12,8452	5,4848	0,00606	2,2175	5	51,84	213,82
166	27556	4574296	12,8841	5,4959	0,00602	2,2201	6	52,15	216,42
167	27889	4657463	12,9228	5,5069	0,00599	2,2227	7	52,46	219,04
168	28224	4741632	12,9615	5,5178	0,00595	2,2253	8	52,78	221,67
169	28561	4826809	13,0000	5,5288	0,00592	2,2279	9	53,09	224,32
170	28900	4913000	13,0384	5,5397	0,00588	2,2304	17,0	53,41	226,98
171	29241	5000211	13,0767	5,5505	0,00585	2,2330	1	53,72	229,66
172	29584	5088448	13,1149	5,5613	0,00581	2,2355	2	54,04	232,35
173	29929	5177717	13,1529	5,5721	0,00578	2,2380	3	54,35	235,06
174	30276	5268024	13,1909	5,5828	0,00575	2,2405	4	54,66	237,79
175	30625	5359375	13,2288	5,5934	0,00571	2,2430	5	54,98	240,53
176	30976	5451776	13,2665	5,6041	0,00568	2,2455	6	55,29	243,28
177	31329	5545233	13,3041	5,6147	0,00565	2,2480	7	55,61	246,06
178	31684	5639752	13,3417	5,6252	0,00562	2,2504	8	55,92	248,85
179	32041	5735339	13,3791	5,6357	0,00559	2,2528	9	56,23	251,65
180	32400	5832000	13,4164	5,6462	0,00556	2,2553	18,0	56,55	254,47
181	32761	5929741	13,4536	5,6567	0,00552	2,2577	1	56,86	257,30
182	33124	6028568	13,4907	5,6671	0,00549	2,2601	2	57,18	260,16
183	33489	6128487	13,5277	5,6774	0,00546	2,2624	3	57,49	263,02
184	33856	6229504	13,5647	5,6877	0,00543	2,2648	4	57,81	265,90
185	34225	6331625	13,6015	5,6980	0,00541	2,2672	5	58,12	268,80
186	34596	6434856	13,6382	5,7083	0,00538	2,2695	6	58,43	271,72
187	34969	6539203	13,6748	5,7185	0,00535	2,2718	7	58,75	274,65
188	35344	6644672	13,7113	5,7287	0,00532	2,2742	8	59,06	277,59
189	35721	6751269	13,7477	5,7388	0,00529	2,2765	9	59,38	280,55
190	36100	6859000	13,7840	5,7489	0,00526	2,2787	19,0	59,69	283,53
191	36481	6967871	13,8203	5,7590	0,00524	2,2810	1	60,00	286,52
192	36864	7077888	13,8564	5,7690	0,00521	2,2833	2	60,32	289,53
193	37249	7189057	13,8924	5,7790	0,00518	2,2856	3	60,63	292,55
194	37636	7301384	13,9284	5,7890	0,00515	2,2878	4	60,95	295,59
195	38025	7414875	13,9642	5,7989	0,00513	2,2900	5	61,26	298,65
196	38416	7529536	14,0000	5,8088	0,00510	2,2923	6	61,58	301,72
197	38809	7645373	14,0357	5,8186	0,00508	2,2945	7	61,89	304,81
198	39204	7762392	14,0712	5,8285	0,00505	2,2967	8	62,20	307,91
199	39601	7880599	14,1067	5,8383	0,00503	2,2989	9	62,52	311,03
200	40000	8000000	14,1421	5,8480	0,00500	2,3010	20,0	62,83	314,16
201	40401	8120601	14,1774	5,8578	0,00498	2,3032	1	63,15	317,31
202	40804	8242408	14,2127	5,8675	0,00495	2,3053	2	63,46	320,47
203	41209	8365427	14,2478	5,8771	0,00493	2,3075	3	63,77	323,65
204	41616	8489664	14,2829	5,8868	0,00490	2,3096	4	64,09	326,85
205	42025	8615125	14,3178	5,8964	0,00488	2,3117	5	64,40	330,06
206	42436	8741816	14,3527	5,9059	0,00485	2,3139	6	64,72	333,29
207	42849	8869743	14,3875	5,9155	0,00483	2,3160	7	65,03	336,54
208	43264	8998912	14,4222	5,9250	0,00481	2,3181	8	65,35	339,79
209	43681	9129329	14,4568	5,9345	0,00478	2,3202	9	65,66	343,07
210	44100	9261000	14,4914	5,9439	0,00476	2,3222	21,0	65,97	346,36

n	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	¼ πd²
211	44521	9393931	14,5258	5,9533	0,00474	2,3243	1	66,29	349,67
212	44944	9528128	14,5602	5.9627	0,00472	2.3263	2	66,60	352,99
213	45369	9663597	14,5945	5,9721	0,00469	2,3284	3	66,92	356,33
214	45796	9800344	14,6287	5,9814	0,00467	2.3304	4	67,23	359.68
215	46225	9938375	14,6629	5,9907	0,00465	2,3324	5	67,54	363,05
216	46656	10077696	14,6969	6,0000	0,00463	2,3344	6	67,86	366,44
217	47089	10218313	14,7309	6,0092	0,00461	2,3365	7	68.17	369.84
218	47524	10360232	14,7648	6,0185	0,00459	2,3385	8	68,49	373,25
219	47961	10503459	14,7986	6,0277	0,00457	2,3404	9	68,80	376,68
220	48400	10648000	14,8324	6,0368	0,00455	2,3424	22,0	69,12	380,13
221	48841	10793861	14,8661	6,0459	0,00452	2,3444	1	69,43	383,60
222	49284	10941048	14,8997	6,0550	0,00450	2,3464	2	69,74	387,08
223	49729	11089567	14,9332	6,0641	0,00448	2,3483	3	70,06	390,57
224	50176	11239424	14,9666	6,0732	0,00446	2.3502	4	70,37	394.08
225	50625	11390625	15,0000	6,0822	0,00444	2,3522	5	70,69	397,61
226	51076	11543176	15,0333	6,0912	0,00442	2,3541	6	71,00	401,15
227	51529	11697083	15,0665	6,1002	0,00441	2,3560	7	71,31	404,71
228	51984	11852352	15,0997	6,1091	0,00439	2,3579	8	71,63	408,28
229	52441	12008989	15,1327	6.1180	0,00437	2,3598	9	71,94	411,87
230	52900	12167000	15,1658	6,1269	0,00435	2,3617	23,0	72,26	415,48
231	53361	12326391	15,1987	6.1358	0,00433	2,3636	1	72,57	419,10
232	53824	12487168	15,2315	6.1446	0,00431	2,3655	2	72,88	422,73
233	54289	12649337	15,2643	6.1534	0,00429	2,3674	3	73,20	426,38
234	54756	12812904	15,2971	6,1622	0,00427	2,3692	4	73,51	430,05
235	55225	12977875	15,3297	6,1710	0,00426	2,3711	5	73,83	433,74
236	55696	13144256	15,3623	6,1797	0,00424	2,3729	6	74,14	437,44
237	56169	13312053	15,3948	6,1885	0,00422	2,3748	7	74,46	441.15
238	56644	13481272	15,4272	6,1972	0,00420	2.3766	8	74,77	444,88
239	57121	13651919	15,4596	6,2058	0,00418	2.3784	9	75,08	448,63
240	57600	13824000	15,4919	6,2145	0,00417	2,3802	24,0	75,40	452,39
241	58081	13997521	15,5242	6,2231	0,00415	2,3820	1	75,71	456,17
242	58564	14172488	15,5563	6.2317	0,00413	2,3838	2	76,03	459,96
243	59049	14348907	15,5885	6.2403	0,00412	2,3856	3	76,34	463.77
244	59536	14526784	15,6205	6,2488	0,00410	2,3874	4	76 65	467,59
245	60025	14706125	15,6525	6,2573	0,00408	2,3892	5	76,97	471,44
246	60516	14886936	15,6844	6,2658	0,00407	2,3909	6	77,28	475,29
247	61009	15069223	15,7162	6,2743	0,00405	2,3927	7	77.60	479,16
248	61504	15252992	15,7480	6,2828	0,00403	2,3945	8	77,91	483.05
249	62001	15438249	15,7797	6,2912	0,00402	2.3962	9	78,23	486.95
250	62500	15625000	15,8114	6,2996	0,00400	2,3979	25,0	78,54	490,87
251	63001	15813251	15,8430	6,3080	0,00398	2,3997	1	78,85	494,81
252	63504	16003008	15,8745	6,3164	0,00397	2,4014	2	79,17	498,76
253	64009	16194277	15,9060	6,3247	0,00395	2,4031	3	79,48	502,73
254	64516	16387064	15,9374	6,3330	0,00394	2,4048	4	79,80	506,71
255	65025	16581375	15,9687	6,3413	0,00392	2,4065	5	80,11	510,71
256	65536	16777216	16,0000	6,3496	0,00391	2,4082	6	80,42	514,72
257	66049	16974593	16,0312	6,3579	0,00389	2,4099	7	80,74	518,75
258	66564	17173512	16,0624	6,3661	0,00388	2,4116	8	81,05	522,79
259	67081	17373979	16,0935	6,3743	0,00386	2.4133	9	81,37	526,85
260	67600	17576000	16,1245	6,3825	0,00385	2,4150	26,0	81,68	530,93
261	68121	17779581	16,1555	6,3907	0,00383	2,4166	1	82,00	535,02
262	68644	17984728	16,1864	6,3988	0,00382	2,4183	2	82.31	539,13
263	69169	18191447	16,2173	6,4070	0,00380	2,4200	3	82,62	543,25
264	69696	18399744	16,2481	6,4151	0,00379	2,4216	4	82.94	547,39
265	70225	18609625	16,2788	6,4232	0,00377	2,4233	5	83,25	551,55

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
266	70756	18821096	16,3095	6,4312	0,00376	2,4249	6	83,57	555,72
267	71289	19034163	16,3401	6,4393	0,00375	2,4265	7	83,88	559,90
268	71824	19248832	16,3707	6,4473	0,00373	2,4281	8	84,19	564,10
269	72361	19465109	16,4012	6,4553	0,00372	2,4298	9	84,51	568,32
270	72900	19683000	16,4317	6,4633	0,00370	2,4314	27,0	84,82	572,56
271	73441	19902511	16,4621	6,4713	0,00369	2,4330	1	85,14	576,80
272	73984	20123648	16,4924	6,4792	0,00368	2,4346	2	85,45	581,07
273	74529	20346417	16,5227	6,4872	0,00366	2,4362	3	85,77	585,35
274	75076	20570824	16,5529	6,4951	0,00365	2,4378	4	86,08	589,65
275	75625	20796875	16,5831	6,5030	0,00364	2,4393	5	86,39	593,96
276	76176	21024576	16,6132	6,5108	0,00362	2,4409	6	86,71	598,28
277	76729	21253933	16,6433	6,5187	0,00361	2,4425	7	87,02	602,63
278	77284	21484952	16,6733	6,5265	0,00360	2,4440	8	87,34	606,99
279	77841	21717639	16,7033	6,5343	0,00358	2,4456	9	87,65	611,36
280	78400	21952000	16,7332	6,5421	0,00357	2,4472	28,0	87,96	615,75
281	78961	22188041	16,7631	6,5499	0,00356	2,4487	1	88,28	620,16
282	79524	22425768	16,7929	6,5577	0,00355	2,4503	2	88,59	624,58
283	80089	22665187	16,8226	6,5654	0,00353	2,4518	3	88,91	629,02
284	80656	22906304	16,8523	6,5731	0,00352	2,4533	4	89,22	633,47
285	81225	23149125	16,8819	6,5808	0,00351	2,4548	5	89,54	637,94
286	81796	23393656	16,9115	6,5885	0,00350	2,4564	6	89,85	642,42
287	82369	23639903	16,9411	6,5962	0,00348	2,4579	7	90,16	646,91
288	82944	23887872	16,9706	6,6039	0,00347	2,4594	8	90,48	651,44
289	83521	24137569	17,0000	6,6115	0,00346	2,4609	9	90,79	655,97
290	84100	24389000	17,0294	6,6191	0,00345	2,4624	29,0	91,11	660,52
291	84681	24642171	17,0587	6,6267	0,00344	2,4639	1	91,42	665,08
292	85264	24897088	17,0880	6,6343	0,00342	2,4654	2	91,73	669,66
293	85849	25153757	17,1172	6,6419	0,00341	2,4669	3	92,05	674,26
294	86436	25412184	17,1464	6,6494	0,00340	2,4684	4	92,36	678,87
295	87025	25672375	17,1756	6,6569	0,00339	2,4698	5	92,68	683,49
296	87616	25934336	17,2047	6,6644	0,00338	2,4713	6	92,99	688,13
297	88209	26198073	17,2337	6,6719	0,00337	2,4728	7	93,31	692,79
298	88804	26463592	17,2627	6,6794	0,00336	2,4742	8	93,62	697,46
299	89401	26730899	17,2916	6,6869	0,00334	2,4757	9	93,93	702,15
300	90000	27000000	17,3205	6,6943	0,00333	2,4771	30,0	94,25	706,86
301	90601	27270901	17,3494	6,7018	0,00332	2,4786	1	94,56	711,58
302	91204	27543608	17,3781	6,7092	0,00331	2,4800	2	94,88	716,31
303	91809	27818127	17,4069	6,7166	0,00330	2,4814	3	95,19	721,07
304	92416	28094464	17,4356	6,7240	0,00329	2,4829	4	95,50	725,83
305	93025	28372625	17,4642	6,7313	0,00328	2,4843	5	95,82	730,62
306	93636	28652616	17,4929	6,7387	0,00327	2,4857	6	96,13	735,42
307	94249	28934443	17,5214	6,7460	0,00326	2,4871	7	96,45	740,23
308	94864	29218112	17,5499	6,7533	0,00325	2,4886	8	96,76	745,06
309	95481	29503629	17,5784	6,7606	0,00324	2,4900	9	97,08	749,91
310	96100	29791000	17,6068	6,7679	0,00323	2,4914	31,0	97,39	754,77
311	96721	30080231	17,6352	6,7752	0,00322	2,4928	1	97,70	759,64
312	97344	30371328	17,6635	6,7824	0,00321	2,4942	2	98,02	764,54
313	97969	30664297	17,6918	6,7897	0,00319	2,4955	3	98,33	769,45
314	98596	30959144	17,7200	6,7969	0,00318	2,4969	4	98,65	774,37
315	99225	31255875	17,7482	6,8041	0,00317	2,4983	5	98,96	779,31
316	99856	31554496	17,7764	6,8113	0,00316	2,4997	6	99,27	784,27
317	100489	31855013	17,8045	6,8185	0,00315	2,5011	7	99,59	789,24
318	101124	32157432	17,8326	6,8256	0,00314	2,5024	8	99,90	794,23
319	101761	32461759	17,8606	6,8328	0,00313	2,5038	9	100,22	799,23
320	102400	32768000	17,8885	6,8399	0,00313	2,5052	32,0	100,53	804,25

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
321	103041	33076161	17,9165	6,8470	0,00312	2,5065	1	100,8	809,28
322	103684	33386248	17,9444	6,8541	0,00311	2,5079	2	101,2	814,33
323	104329	33698267	17,9722	6,8612	0,00310	2,5092	3	101,5	819,40
324	104976	34012224	18,0000	6,8683	0,00309	2,5106	4	101,8	824,48
325	105625	34328125	18,0278	6,8753	0,00308	2,5119	5	102,1	829,58
326	106276	34645976	18,0555	6,8824	0,00307	2,5132	6	102,4	834,69
327	106929	34965783	18,0831	6,8894	0,00306	2,5145	7	102,7	839,82
328	107584	35287552	18,1108	6,8964	0,00305	2,5159	8	103,0	844,96
329	108241	35611289	18,1384	6,9034	0,00304	2,5172	9	103,4	850,12
330	108900	35937000	18,1659	6,9104	0,00303	2,5185	33,0	103,7	855,30
331	109561	36264691	18,1934	6,9174	0,00302	2,5198	1	104,0	860,49
332	110224	36594368	18,2209	6,9244	0,00301	2,5211	2	104,3	865,70
333	110889	36926037	18,2483	6,9313	0,00300	2,5224	3	104,6	870,92
334	111556	37259704	18,2757	6,9382	0,00299	2,5238	4	104,9	876,16
335	112225	37595375	18,3030	6,9451	0,00299	2,5250	5	105,2	881,41
336	112896	37933056	18,3303	6,9521	0,00298	2,5263	6	105,6	886,[illegible]
337	113569	38272753	18,3576	6,9589	0,00297	2,5276	7	105,9	891,[illegible]
338	114244	38614472	18,3848	6,9658	0,00296	2,5289	8	106,2	897,27
339	114921	38958219	18,4120	6,9727	0,00295	2,5302	9	106,5	902,5[illegible]
340	115600	39304000	18,4391	6,9795	0,00294	2,5315	34,0	106,8	907,[illegible]
341	116281	39651821	18,4662	6,9864	0,00293	2,5328	1	107,1	913,27
342	116964	40001688	18,4932	6,9932	0,00292	2,5340	2	107,4	918,6[illegible]
343	117649	40353607	18,5203	7,0000	0,00292	2,5353	3	107,8	924,[illegible]
344	118336	40707584	18,5472	7,0068	0,00291	2,5366	4	108,1	929,41
345	119025	41063625	18,5742	7,0136	0,00290	2,5378	5	108,4	934,8[illegible]
346	119716	41421736	18,6011	7,0203	0,00289	2,5391	6	108,7	940,25
347	120409	41781923	18,6279	7,0271	0,00288	2,5403	7	109,0	945,69
348	121104	42144192	18,6548	7,0338	0,00287	2,5416	8	109,3	951,15
349	121801	42508549	18,6815	7,0406	0,00287	2,5428	9	109,6	956,62
350	122500	42875000	18,7083	7,0473	0,00286	2,5441	35,0	110,0	962,11
351	123201	43243551	18,7350	7,0540	0,00285	2,5453	1	110,3	967,62
352	123904	43614208	18,7617	7,0607	0,00284	2,5465	2	110,6	973,14
353	124609	43986977	18,7883	7,0674	0,00283	2,5478	3	110,9	978,68
354	125316	44361864	18,8149	7,0740	0,00282	2,5490	4	111,2	984,23
355	126025	44738875	18,8414	7,0807	0,00282	2,5502	5	111,5	989,80
356	126736	45118016	18,8680	7,0873	0,00281	2,5515	6	111,8	995,38
357	127449	45499293	18,8944	7,0940	0,00280	2,5527	7	112,2	1000,98
358	128164	45882712	18,9209	7,1006	0,00279	2,5539	8	112,5	1006,60
359	128881	46268279	18,9473	7,1072	0,00279	2,5551	9	112,8	1012,23
360	129600	46656000	18,9737	7,1138	0,00278	2,5563	36,0	113,1	1017,87
361	130321	47045881	19,0000	7,1204	0,00277	2,5575	1	113,4	1023,54
362	131044	47437928	19,0263	7,1269	0,00276	2,5587	2	113,7	1029,21
363	131769	47832147	19,0526	7,1335	0,00275	2,5599	3	114,0	1034,91
364	132496	48228544	19,0788	7,1400	0,00275	2,5611	4	114,4	1040,62
365	133225	48627125	19,1050	7,1466	0,00274	2,5623	5	114,7	1046,35
366	133956	49027896	19,1311	7,1531	0,00273	2,5635	6	115,0	1052,09
367	134689	49430863	19,1572	7,1596	0,00272	2,5647	7	115,3	1057,84
368	135424	49836032	19,1833	7,1661	0,00272	2,5659	8	115,6	1063,62
369	136161	50243409	19,2094	7,1726	0,00271	2,5670	9	115,9	1069,40
370	136900	50653000	19,2354	7,1791	0,00270	2,5682	37,0	116,2	1075,21
371	137641	51064811	19,2614	7,1855	0,00270	2,5694	1	116,6	1081,03
372	138384	51478848	19,2873	7,1920	0,00269	2,5705	2	116,9	1086,[illegible]
373	139129	51895117	19,3132	7,1984	0,00268	2,5717	3	117,2	1092,[illegible]
374	139876	52313624	19,3391	7,2048	0,00267	2,5729	4	117,5	1098,[illegible]
375	140625	52734375	19,3649	7,2112	0,00267	2,5740	5	117,8	1104,46

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
376	141376	53157376	19,3907	7,2177	0,00266	2,5752	6	118,1	1110,4
377	142129	53582633	19,4165	7,2240	0,00265	2,5763	7	118,4	1116,3
378	142884	54010152	19,4422	7,2304	0,00265	2,5775	8	118,8	1122,2
379	143641	54439939	19,4679	7,2368	0,00264	2,5786	9	119,1	1128,1
380	144400	54872000	19,4936	7,2432	0,00263	2,5798	38,0	119,4	1134,1
381	145161	55306341	19,5192	7,2495	0,00262	2,5809	1	119,7	1140,1
382	145924	55742968	19,5448	7,2558	0,00262	2,5821	2	120,0	1146,1
383	146689	56181887	19,5704	7,2622	0,00261	2,5832	3	120,3	1152,1
384	147456	56623104	19,5959	7,2685	0,00260	2,5843	4	120,6	1158,1
385	148225	57066625	19,6214	7,2748	0,00260	2,5855	5	121,0	1164,2
386	148996	57512456	19,6469	7,2811	0,00259	2,5866	6	121,3	1170,2
387	149769	57960603	19,6723	7,2874	0,00258	2,5877	7	121,6	1176,3
388	150544	58411072	19,6977	7,2936	0,00258	2,5888	8	121,9	1182,4
389	151321	58863869	19,7231	7,2999	0,00257	2,5899	9	122,2	1188,5
390	152100	59319000	19,7484	7,3061	0,00256	2,5911	39,0	122,5	1194,6
391	152881	59776471	19,7737	7,3124	0,00256	2,5922	1	122,8	1200,7
392	153664	60236288	19,7990	7,3186	0,00255	2,5933	2	123,2	1206,9
393	154449	60698457	19,8242	7,3248	0,00254	2,5944	3	123,5	1213,0
394	155236	61162984	19,8494	7,3310	0,00254	2,5955	4	123,8	1219,2
395	156025	61629875	19,8746	7,3372	0,00253	2,5966	5	124,1	1225,4
396	156816	62099136	19,8997	7,3434	0,00253	2,5977	6	124,4	1231,6
397	157609	62570773	19,9249	7,3496	0,00252	2,5988	7	124,7	1237,9
398	158404	63044792	19,9499	7,3558	0,00251	2,5999	8	125,0	1244,1
399	159201	63521199	19,9750	7,3619	0,00251	2,6010	9	125,3	1250,4
400	160000	64000000	20,0000	7,3681	0,00250	2,6021	40,0	125,7	1256,6
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	0,00249	2,6031	1	126,0	1262,9
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	0,00249	2,6042	2	126,3	1269,2
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	0,00248	2,6053	3	126,6	1275,6
404	163216	65939264	20,0998	7,3925	0,00248	2,6064	4	126,9	1281,9
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	0,00247	2,6075	5	127,2	1288,2
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	0,00246	2,6085	6	127,5	1294,6
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	0,00246	2,6096	7	127,9	1301,0
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	0,00245	2,6107	8	128,2	1307,4
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	0,00244	2,6117	9	128,5	1313,8
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	0,00244	2,6128	41,0	128,8	1320,3
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	0,00243	2,6138	1	129,1	1326,7
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	0,00243	2,6149	2	129,4	1333,2
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	0,00242	2,6160	3	129,7	1339,6
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	0,00242	2,6170	4	130,1	1346,1
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	0,00241	2,6181	5	130,4	1352,7
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	0,00240	2,6191	6	130,7	1359,2
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	0,00240	2,6201	7	131,0	1365,7
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	0,00239	2,6212	8	131,3	1372,3
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	0,00239	2,6222	9	131,6	1378,9
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	0,00238	2,6233	42,0	131,9	1385,4
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	0,00238	6,6243	1	132,3	1392,0
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	0,00237	2,6253	2	132,6	1398,7
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	0,00236	2,6263	3	132,9	1405,3
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	0,00236	2,6274	4	133,2	1412,0
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	0,00235	2,6284	5	133,5	1418,6
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	0,00235	2,6294	6	133,8	1425,3
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	0,00234	2,6304	7	134,1	1432,0
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	0,00234	2,6314	8	134,5	1438,7
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	0,00233	2,6325	9	134,8	1445,5
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	0,00233	2,6335	43,0	135,1	1452,2

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}$ π d^2
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	0,00232	2,6345	1	135,4	1459,0
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	0,00231	2,6355	2	135,7	1465,7
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	0,00231	2,6365	3	136,0	1472,5
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	0,00230	2,6375	4	136,3	1479,3
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	0,00230	2,6385	5	136,7	1486,2
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	0,00229	2,6395	6	137,0	1493,0
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	0,00229	2,6405	7	137,3	1499,9
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	0,00228	2,6415	8	137,6	1506,7
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	0,00228	2,6425	9	137,9	1513,6
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	0,00227	2,6435	44,0	138,2	1520,5
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	0,00227	2,6444	1	138,5	1527,5
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	0,00226	2,6454	2	138,9	1534,4
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	0,00226	2,6464	3	139,2	1541,3
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	0,00225	2,6474	4	139,5	1548,3
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	0,00225	2,6484	5	139,8	1555,3
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	0,00224	2,6493	6	140,1	1562,3
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	0,00224	2,6503	7	140,4	1569,3
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	0,00223	2,6513	8	140,7	1576,3
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	0,00223	2,6523	9	141,1	1583,4
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	0,00222	2,6532	45,0	141,4	1590,4
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	0,00222	2,6542	1	141,7	1597,5
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	0,00221	2,6551	2	142,0	1604,6
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	0,00221	2,6561	3	142,3	1611,7
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	0,00220	2,6571	4	142,6	1618,8
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	0,00220	2,6580	5	142,9	1626,0
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	0,00219	2,6590	6	143,3	1633,1
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	0,00219	2,6599	7	143,6	1640,3
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	0,00218	2,6609	8	143,9	1647,5
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	0,00218	2,6618	9	144,2	1654,7
460	211600	97336000	21,4476	7,7194	0,00217	2,6628	46,0	144,5	1661,9
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	0,00217	2,6637	1	144,8	1669,1
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	0,00216	2,6646	2	145,1	1676,4
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	0,00216	2,6656	3	145,5	1683,7
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	0,00216	2,6665	4	145,8	1690,9
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	0,00215	2,6675	5	146,1	1698,2
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	0,00215	2,6684	6	146,4	1705,5
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	0,00214	2,6693	7	146,7	1712,9
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	0,00214	2,6703	8	147,0	1720,2
469	219961	103161709	21,6564	7,7695	0,00213	2,6712	9	147,3	1727,6
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	0,00213	2,6721	47,0	147,7	1734,9
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	0,00212	2,6730	1	148,0	1742,3
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	0,00212	2,6739	2	148,3	1749,7
473	223729	105823817	21,7486	7,7915	0,00211	2,6749	3	148,6	1757,2
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	0,00211	2,6758	4	148,9	1764,6
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	0,00211	2,6767	5	149,2	1772,1
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	0,00210	2,6776	6	149,5	1779,5
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	0,00210	2,6785	7	149,9	1787,0
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	0,00209	2,6794	8	150,2	1794,5
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	0,00209	2,6803	9	150,5	1802,0
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	0,00208	2,6812	48,0	150,8	1809,6
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	0,00208	2,6822	1	151,1	1817,1
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	0,00207	2,6831	2	151,4	1824,7
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	0,00207	2,6840	3	151,7	1832,2
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	0,00207	2,6849	4	152,1	1839,8
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	0,00206	2,6857	5	152,4	1847,5

n	n²	n³	√n	∛n	1/n	log n	d = 0,1 n	πd	¼πd²
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	0,00206	2,6866	6	152,7	1855,1
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	0,00205	2,6875	7	153,0	1862,7
488	238144	11621427[illegible]	22,0907	7,8730	0,00205	2,6884	8	153,3	1870,4
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	0,00204	2,6893	9	153,6	1878,1
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	0,00204	2,6902	49,0	153,9	1885,7
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	0,00204	2,6911	1	154,3	1893,4
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	0,00203	2,6920	2	154,6	1901,2
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	0,00203	2,69[illegible]9	3	154,9	1908,9
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	0,00202	2,6937	4	155,2	1916,7
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	0,00202	2,6946	5	155,5	1924,4
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	0,00202	2,6955	6	155,8	1932,2
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	0,00201	2,6964	7	156,1	1940,0
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	0,00201	2,6972	8	156,5	1947,8
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	0,00200	2,6981	9	156,8	1955,6
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	0,00200	2,6990	50,0	157,1	1963,5
501	251001	125751501	22,3830	7,9423	0,00200	2,6998	1	157,4	1971,4
502	252004	126506008	22,4054	7,9476	0,00199	2,7007	2	157,7	1979,2
503	253009	127263527	22,4277	7,9528	0,00199	2,7016	3	158,0	1987,1
504	254016	128024064	22,4499	7,9581	0,00198	2,7024	4	158,3	1995,0
505	255025	128787625	22,4722	7,9634	0,00198	2,7033	5	158,7	2003,0
506	256036	129554216	22,4944	7,9686	0,00198	2,7042	6	159,0	2010,9
507	257049	130323843	22,5167	7,9739	0,00197	2,7050	7	159,3	2018,9
508	258064	131096512	22,5389	7,9791	0,00[illegible]	2,7059	8	159,6	2026,8
509	259081	131872229	22,5610	7,9843	0,00196	2,7067	9	159,9	2034,8
510	260100	132651000	22,5832	7,9896	0,00196	2,7076	51,0	160,2	2042,8
511	261121	133432831	22,6053	7,9948	0,00196	2,7084	1	160,5	2050,8
512	262144	134217728	22,6274	8,0000	0,00195	2,7093	2	160,8	2058,9
513	263169	135005697	22,6495	8,0052	0,00195	2,7101	3	161,2	2066,9
514	264196	135796744	22,6716	8,0104	0,00195	2,7110	4	161,5	2075,0
515	265225	136590875	22,6936	8,0156	0,00194	2,7118	5	161,8	2083,1
516	266256	137388096	22,7156	8,0208	0,00194	2,7127	6	162,1	2091,2
517	267289	138188413	22,7376	8,0260	0,00193	2,7135	7	162,4	2099,3
518	268324	138991832	22,7596	8,0311	0,00193	2,7143	8	162,7	2107,4
519	269361	139798359	22,7816	8,0363	0,00193	2,7152	9	163,0	2115,6
520	270400	140608000	22,8035	8,0415	0,00192	2,7160	52,0	163,4	2123,7
521	271441	141420761	22,8254	8,0466	0,00192	2,7168	1	163,7	2131,9
522	272484	142236648	22,8473	8,0517	0,00192	2,7177	2	164,0	214[illegible]1
523	273529	143055667	22,8692	8,0569	0,00191	2,7185	3	164,3	2148,3
524	274576	143877824	22,8910	8,0620	0,00191	2,7193	4	164,6	2156,5
525	275625	144703125	22,9129	8,0671	0,00190	2,7202	5	164,9	2164,8
526	276676	145531576	22,9347	8,0723	0,00190	2,7210	6	165,2	2173,0
527	277729	146363183	22,9565	8,0774	0,00190	2,7218	7	165,6	2181,3
528	278784	147197952	22,9783	8,0825	0,00189	2,7226	8	165,9	2189,6
529	279841	148035889	23,0000	8,0876	0,00189	2,7235	9	166,2	2197,9
530	280900	148877000	23,0217	8,0927	0,00189	2,7243	53,0	166,5	2206,2
531	281961	149721291	23,0434	8,0978	0,00188	2,7251	1	166,8	2214,5
532	283024	150568768	23,0651	8,1028	0,00188	2,7259	2	167,1	2222,9
533	284089	151419437	23,0868	8,1079	0,00188	2,7267	3	167,4	2231,2
534	285156	152273304	23,1084	8,1130	0,00187	2,7275	4	167,8	2239,6
535	286225	153130375	23,1301	8,1180	0,00187	2,7284	5	168,1	2248,0
536	287296	153990656	23,1517	8,1231	0,00187	2,7292	6	168,4	2256,4
537	288369	154854153	23,1733	8,1281	0,00186	2,7300	7	168,7	2264,8
538	289444	155720872	23,1948	8,1332	0,00186	2,7308	8	169,0	2273,3
539	290521	156590819	23,2164	8,1382	0,00186	2,7316	9	169,3	2281,7
540	291600	157464000	23,2379	8,1433	0,00185	2,7324	54,0	169,6	2290,2

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
541	292681	158340421	23,2594	8,1483	0,00185	2,7332	1	170,0	2298,7
542	293764	159220088	23,2809	8,1533	0,00185	2,7340	2	170,3	2307,2
543	294849	160103007	23,3024	8,1583	0,00184	2,7348	3	170,6	2315,7
544	295936	160989184	23,3238	8,1633	0,00184	2,7356	4	170,9	2324,3
545	297025	161878625	23,3452	8,1683	0,00183	2,7364	5	171,2	2332,8
546	298116	162771336	23,3666	8,1733	0,00183	2,7372	6	171,5	2341,4
547	299209	163667323	23,3880	8,1783	0,00183	2,7380	7	171,8	2350,0
548	300304	164566592	23,4094	8,1833	0,00182	2,7388	8	172,2	2358,6
549	301401	165469149	23,4307	8,1882	0,00182	2,7396	9	172,5	2367,2
550	302500	166375000	23,4521	8,1932	0,00182	2,7404	55,0	172,8	2375,8
551	303601	167284151	23,4734	8,1982	0,00181	2,7412	1	173,1	2384,5
552	304704	168196608	23,4947	8,2031	0,00181	2,7419	2	173,4	2393,1
553	305809	169112377	23,5160	8,2081	0,00181	2,7427	3	173,7	2401,8
554	306916	170031464	23,5372	8,2130	0,00181	2,7435	4	174,0	2410,5
555	308025	170953875	23,5584	8,2180	0,00180	2,7443	5	174,4	2419,2
556	309136	171879616	23,5797	8,2229	0,00180	2,7451	6	174,7	2427,9
557	310249	172808693	23,6008	8,2278	0,00180	2,7459	7	175,0	2436,7
558	311364	173741112	23,6220	8,2327	0,00179	2,7466	8	175,3	2445,4
559	312481	174676879	23,6432	8,2377	0,00179	2,7474	9	175,6	2454,2
560	313600	175616000	23,6643	8,2426	0,00179	2,7482	56,0	175,9	2463,0
561	314721	176558481	23,6854	8,2475	0,00178	2,7490	1	176,2	2471,8
562	315844	177504328	23,7065	8,2524	0,00178	2,7497	2	176,6	2480,6
563	316969	178453547	23,7276	8,2573	0,00178	2,7505	3	176,9	2489,5
564	318096	179406144	23,7487	8,2621	0,00177	2,7513	4	177,2	2498,3
565	319225	180362125	23,7697	8,2670	0,00177	2,7521	5	177,5	2507,2
566	320356	181321496	23,7908	8,2719	0,00177	2,7528	6	177,8	2516,1
567	321489	182284263	23,8118	8,2768	0,00176	2,7536	7	178,1	2525,0
568	322624	183250432	23,8328	8,2816	0,00176	2,7544	8	178,4	2533,9
569	323761	184220009	23,8537	8,2865	0,00176	2,7551	9	178,8	2542,8
570	324900	185193000	23,8747	8,2913	0,00175	2,7559	57,0	179,1	2551,8
571	326041	186169411	23,8956	8,2962	0,00175	2,7566	1	179,4	2560,7
572	327184	187149248	23,9165	8,3010	0,00175	2,7574	2	179,7	2569,7
573	328329	188132517	23,9374	8,3059	0,00175	2,7582	3	180,0	2578,7
574	329476	189119224	23,9583	8,3107	0,00174	2,7589	4	180,3	2587,7
575	330625	190109375	23,9792	8,3155	0,00174	2,7597	5	180,6	2596,7
576	331776	191102976	24,0000	8,3203	0,00174	2,7604	6	181,0	2605,8
577	332929	192100033	24,0208	8,3251	0,00173	2,7612	7	181,3	2614,8
578	334084	193100552	24,0416	8,3300	0,00173	2,7619	8	181,6	2623,9
579	335241	194104539	24,0624	8,3348	0,00173	2,7627	9	181,9	2633,0
580	336400	195112000	24,0832	8,3396	0,00172	2,7634	58,0	182,2	2642,1
581	337561	196122941	24,1039	8,3443	0,00172	2,7642	1	182,5	2651,2
582	338724	197137368	24,1247	8,3491	0,00172	2,7649	2	182,8	2660,3
583	339889	198155287	24,1454	8,3539	0,00172	2,7657	3	183,2	2669,5
584	341056	199176704	24,1661	8,3587	0,00171	2,7664	4	183,5	2678,6
585	342225	200201625	24,1868	8,3634	0,00171	2,7672	5	183,8	2687,8
586	343396	201230056	24,2074	8,3682	0,00171	2,7679	6	184,1	2697,0
587	344569	202262003	24,2281	8,3730	0,00170	2,7686	7	184,4	2706,2
588	345744	203297472	24,2487	8,3777	0,00170	2,7694	8	184,7	2715,5
589	346921	204336469	24,2693	8,3825	0,00170	2,7701	9	185,0	2724,7
590	348100	205379000	24,2899	8,3872	0,00169	2,7709	59,0	185,4	2734,0
591	349281	206425071	24,3105	8,3919	0,00169	2,7716	1	185,7	2743,2
592	350464	207474688	24,3311	8,3967	0,00169	2,7723	2	186,0	2752,5
593	351649	208527857	24,3516	8,4014	0,00169	2,7731	3	186,3	2761,8
594	352836	209584584	24,3721	8,4061	0,00168	2,7738	4	186,6	2771,2
595	354025	210644875	24,3926	8,4103	0,00168	2,7745	5	186,9	2780,5

n	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	¼ π d²
596	355216	211708736	24,4131	8,4155	0,00168	2,7753	6	187,2	2789,9
597	356409	212776173	24,4336	8,4202	0,00168	2,7760	7	187,6	2799,2
598	357604	213847192	24,4540	8,4249	0,00167	2,7767	8	187,9	2808,6
599	358801	214921799	24,4745	8,4296	0,00167	2,7774	9	188,2	2818,0
600	360000	216000000	24,4949	8,4343	0,00167	2,7782	60,0	188,5	2827,4
601	361201	217081801	24,5153	8,4390	0,00166	2,7789	1	188,8	2836,9
602	362404	218167208	24,5357	8,4437	0,00166	2,7796	2	189,1	2846,3
603	363609	219256227	24,5561	8,4484	0,00166	2,7803	3	189,4	2855,8
604	364816	220348864	24,5764	8,4530	0,00166	2,7810	4	189,8	2865,3
605	366025	221445125	24,5967	8,4577	0,00165	2,7818	5	190,1	2874,8
606	367236	222545016	24,6171	8,4623	0,00165	2,7825	6	190,4	2884,3
607	368449	223648543	24,6374	8,4670	0,00165	2,7832	7	190,7	2893,8
608	369664	224755712	24,6577	8,4716	0,00164	2,7839	8	191,0	2903,3
609	370881	225866529	24,6779	8,4763	0,00164	2,7846	9	191,8	2912,9
610	372100	226981000	24,6982	8,4809	0,00164	2,7853	61,0	191,6	2922,5
611	373321	228099131	24,7184	8,4856	0,00164	2,7860	1	192,0	2932,1
612	374544	229220928	24,7386	8,4902	0,00163	2,7868	2	192,3	2941,7
613	375769	230346397	24,7588	8,4948	0,00163	2,7875	3	192,6	2951,3
614	376996	231475544	24,7790	8,4994	0,00163	2,7882	4	192,9	2960,9
615	378225	232608375	24,7992	8,5040	0,00163	2,7889	5	193,2	2970,6
616	379456	233744896	24,8193	8,5086	0,00162	2,7896	6	193,5	2980,2
617	380689	234885113	24,8395	8,5132	0,00162	2,7903	7	193,8	2989,9
618	381924	236029032	24,8596	8,5178	0,00162	2,7910	8	194,2	2999,6
619	383161	237176659	24,8797	8,5224	0,00162	2,7917	9	194,5	3009,3
620	384400	238328000	24,8998	8,5270	0,00161	2,7924	62,0	194,8	3019,1
621	385641	239483061	24,9199	8,5316	0,00161	2,7931	1	195,1	3028,8
622	386884	240641848	24,9399	8,5362	0,00161	2,7938	2	195,4	3038,6
623	388129	241804367	24,9600	8,5408	0,00161	2,7945	3	195,7	3048,4
624	389376	242970624	24,9800	8,5453	0,00160	2,7952	4	196,0	3058,2
625	390625	244140625	25,0000	8,5499	0,00160	2,7959	5	196,3	3068,0
626	391876	245314376	25,0200	8,5544	0,00160	2,7966	6	196,7	3077,8
627	393129	246491883	25,0400	8,5590	0,00159	2,7973	7	197,0	3087,6
628	394384	247678152	25,0599	8,5635	0,00159	2,7980	8	197,3	3097,5
629	395641	248858189	25,0799	8,5681	0,00159	2,7987	9	197,6	3107,4
630	396900	250047000	25,0998	8,5726	0,00159	2,7993	63,0	197,9	3117,2
631	398161	251239591	25,1197	8,5772	0,00158	2,8000	1	198,2	3127,1
632	399424	252435968	25,1396	8,5817	0,00158	2,8007	2	198,5	3137,1
633	400689	253636137	25,1595	8,5862	0,00158	2,8014	3	198,9	3147,0
634	401956	254840104	25,1794	8,5907	0,00158	2,8021	4	199,2	3157,0
635	403225	256047875	25,1992	8,5952	0,00157	2,8028	5	199,5	3166,9
636	404496	257259456	25,2190	8,5997	0,00157	2,8035	6	199,8	3176,9
637	405769	258474853	25,2389	8,6043	0,00157	2,8041	7	200,1	3186,9
638	407044	259694072	25,2587	8,6088	0,00157	2,8048	8	200,4	3196,9
639	408321	260917119	25,2784	8,6132	0,00156	2,8055	9	200,7	3206,9
640	409600	262144000	25,2982	8,6177	0,00156	2,8062	64,0	201,1	3217,0
641	410881	263374721	25,3180	8,6222	0,00156	2,8069	1	201,4	3227,1
642	412164	264609288	25,3377	8,6267	0,00156	2,8075	2	201,7	3237,1
643	413449	265847707	25,3574	8,6312	0,00156	2,8082	3	202,0	3247,2
644	414736	267089984	25,3772	8,6357	0,00155	2,8089	4	202,3	3257,3
645	416025	268336125	25,3969	8,6401	0,00155	2,8096	5	202,6	3267,5
646	417316	269586136	25,4165	8,6446	0,00155	2,8102	6	202,9	3277,6
647	418609	270840023	25,4362	8,6490	0,00155	2,8109	7	203,3	3287,7
648	419904	272097792	25,4558	8,6535	0,00154	2,8116	8	203,6	3297,9
649	421201	273359449	25,4755	8,6579	0,00154	2,8122	9	203,9	3308,1
650	422500	274625000	25,4951	8,6624	0,00154	2,8129	65,0	204,2	3318,3

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0.1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
651	423801	275894451	25,5147	8,6668	0,00154	2,8136	1	204,5	3328,5
652	425104	277167808	25,5343	8,6713	0,00153	2,8143	2	204,8	3338,8
653	426409	278445077	25,5539	8,6757	0,00153	2,8149	3	205,1	3349,0
654	427716	279726264	25,5734	8,6801	0,00153	2,8156	4	205,5	3359,3
655	429025	281011375	25,5930	8,6845	0,00153	2,8162	5	205,8	3369,6
656	430336	282300416	25,6125	8,6890	0,00152	2,8169	6	206,1	3379,9
657	431649	283593393	25,6320	8,6934	0,00152	2,8176	7	206,4	3390,2
658	432964	284890312	25,6515	8,6978	0,00152	2,8182	8	206,7	3400,5
659	434281	286191179	25,6710	8,7022	0,00152	2,8189	9	207,0	3410,8
660	435600	287496000	25,6905	8,7066	0,00152	2,8195	66,0	207,3	3421,2
661	436921	288804781	25,7099	8,7110	0,00151	2,8202	1	207,7	3431,6
662	438244	290117528	25,7294	8,7154	0,00151	2,8209	2	208,0	3442,0
663	439569	291434247	25,7488	8,7198	0,00151	2,8215	3	208,3	3452,4
664	440896	292754944	25,7682	8,7241	0,00151	2,8222	4	208,6	3462,8
665	442225	294079625	25,7876	8,7285	0,00150	2,8228	5	208,9	3473,2
666	443556	295408296	25,8070	8,7329	0,00150	2,8235	6	209,2	3483,7
667	444889	296740963	25,8263	8,7373	0,00150	2,8241	7	209,5	3494,2
668	446224	298077632	25,8457	8,7416	0,00150	2,8248	8	209,9	3504,6
669	447561	299418309	25,8650	8,7460	0,00149	2,8254	9	210,2	3515,1
670	448900	300763000	25,8844	8,7503	0,00149	2,8261	67,0	210,5	3525,7
671	450241	302111711	25,9037	8,7547	0,00149	2,8267	1	210,8	3536,2
672	451584	303464448	25,9230	8,7590	0,00149	2,8274	2	211,1	3546,7
673	452929	304821217	25,9422	8,7634	0,00149	2,8280	3	211,4	3557,3
674	454276	306182024	25,9615	8,7677	0,00148	2,8287	4	211,7	3567,9
675	455625	307546875	25,9808	8,7721	0,00148	2,8293	5	212,1	3578,5
676	456976	308915776	26,0000	8,7764	0,00148	2,8299	6	212,4	3589,1
677	458329	310288733	26,0192	8,7807	0,00148	2,8306	7	212,7	3599,7
678	459684	311665752	26,0384	8,7850	0,00147	2,8312	8	213,0	3610,3
679	461041	313046839	26,0576	8,7893	0,00147	2,8319	9	213,4	3621,0
680	462400	314432000	26,0768	8,7937	0,00147	2,8325	68,0	213,6	3631,7
681	463761	315821241	26,0960	8,7980	0,00147	2,8332	1	213,9	3642,4
682	465124	317214568	26,1151	8,8023	0,00147	2,8338	2	214,3	3653,1
683	466489	318611987	26,1343	8,8066	0,00146	2,8344	3	214,6	3663,8
684	467856	320013504	26,1534	8,8109	0,00146	2,8351	4	214,9	3674,5
685	469225	321419125	26,1725	8,8152	0,00146	2,8357	5	215,2	3685,3
686	470596	322828856	26,1916	8,8194	0,00146	2,8363	6	215,5	3696,1
687	471969	324242703	26,2107	8,8237	0,00146	2,8370	7	215,8	3706,8
688	473344	325660672	26,2298	8,8280	0,00145	2,8376	8	216,1	3717,6
689	474721	327082769	26,2488	8,8323	0,00145	2,8382	9	216,5	3728,5
690	476100	328509000	26,2679	8,8366	0,00145	2,8389	69,0	216,8	3739,3
691	477481	329939371	26,2869	8,8408	0,00145	2,8395	1	217,1	3750,1
692	478864	331373888	26,3059	8,8451	0,00145	2,8401	2	217,4	3761,0
693	480249	332812557	26,3249	8,8493	0,00144	2,8407	3	217,7	3771,9
694	481636	334255384	26,3439	8,8536	0,00144	2,8414	4	218,0	3782,8
695	483025	335702375	26,3629	8,8578	0,00144	2,8420	5	218,3	3793,7
696	484416	337153536	26,3818	8,8621	0,00144	2,8426	6	218,7	3804,6
697	485809	338608873	26,4008	8,8663	0,00143	2,8432	7	219,0	3815,5
698	487204	340068392	26,4197	8,8706	0,00143	2,8439	8	219,3	3826,5
699	488601	341532099	26,4386	8,8748	0,00143	2,8445	9	219,6	3837,5
700	490000	343000000	26,4575	8,8790	0,00143	2,8451	70,0	219,9	3848,5
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	0,00143	2,8457	1	220,2	3859,5
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	0,00142	2,8463	2	220,5	3870,5
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	0,00142	2,8470	3	220,9	3881,5
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	0,00142	2,8476	4	221,2	3892,6
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	0,00142	2,8482	5	221,5	3903,6

n	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	0,00142	2,8488	6	221,8	3914,7
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	0,00141	2,8494	7	222,1	3925,8
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	0,00141	2,8500	8	222,4	3936,9
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	0,00141	2,8506	9	222,7	3948,0
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	0,00141	2,8513	**71,0**	223,1	3959,2
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	0,00141	2,8519	1	223,4	3970,4
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	0,00140	2,8525	2	223,7	3981,5
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	0,00140	2,8531	3	224,0	3992,7
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	0,00140	2,8537	4	224,3	4003,9
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	0,00140	2,8543	5	224,6	4015,2
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	0,00140	2,8549	6	224,9	4026,4
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	0,00139	2,8555	7	225,3	4037,6
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	0,00139	2,8561	8	225,6	4048,9
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	0,00139	2,8567	9	225,9	4060,2
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	0,00139	2,8573	**72,0**	226,2	4071,5
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	0,00139	2,8579	1	226,5	4082,8
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	0,00139	2,8585	2	226,8	4094,2
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	0,00138	2,8591	3	227,1	4105,5
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	0,00138	2,8597	4	227,5	4116,9
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	0,00138	2,8603	5	227,8	4128,2
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	0,00138	2,8609	6	228,1	4139,6
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	0,00138	2,8615	7	228,4	4151,1
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	0,00137	2,8621	8	228,7	4162,5
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	0,00137	2,8627	9	229,0	4173,9
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	0,00137	2,8633	**73,0**	229,3	4185,4
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	0,00137	2,8639	1	229,7	4196,9
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	0,00137	2,8645	2	230,0	4208,4
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	0,00136	2,8651	3	230,3	4219,9
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	0,00136	2,8657	4	230,6	4231,4
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	0,00136	2,8663	5	230,9	4242,9
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	0,00136	2,8669	6	231,2	4254,5
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	0,00136	2,8675	7	231,5	4266,0
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	0,00136	2,8681	8	231,8	4277,6
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	0,00135	2,8686	9	232,2	4289,2
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	0,00135	2,8692	**74,0**	232,5	4300,8
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	0,00135	2,8698	1	232,8	4312,5
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	0,00135	2,8704	2	233,1	4324,1
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	0,00135	2,8710	3	233,4	4335,8
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	0,00134	2,8716	4	233,7	4347,5
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	0,00134	2,8722	5	234,0	4359,2
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	0,00134	2,8727	6	234,4	4370,9
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	0,00134	2,8733	7	234,7	4382,6
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	0,00134	2,8739	8	235,0	4394,3
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	0,00134	2,8745	9	235,3	4406,1
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	0,00133	2,8751	**75,0**	235,6	4417,9
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	0,00133	2,8756	1	235,9	4429,7
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	0,00133	2,8762	2	236,2	4441,5
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	0,00133	2,8768	3	236,6	4453,3
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	0,00133	2,8774	4	236,9	4465,1
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	0,00132	2,8780	5	237,2	4477,0
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	0,00132	2,8785	6	237,5	4488,8
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	0,00132	2,8791	7	237,8	4500,7
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	0,00132	2,8797	8	238,1	4512,6
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	0,00132	2,8802	9	238,4	4524,4
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	0,00132	2,8808	**76,0**	238,8	4536,5

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	0,00131	2,8814	1	239,1	4548,4
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	0,00131	2,8820	2	239,4	4560,4
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	0,00131	2,8825	3	239,7	4572,3
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	0,00131	2,8831	4	240,0	4584,3
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	0,00131	2,8837	5	240,3	4596,3
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	0,00131	2,8842	6	240,6	4608,4
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	0,00130	2,8848	7	241,0	4620,4
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	0,00130	2,8854	8	241,3	4632,5
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	0,00130	2,8859	9	241,6	4644,5
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	0,00130	2,8865	77,0	241,9	4656,6
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	0,00130	2,8870	1	242,2	4668,7
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	0,00130	2,8876	2	242,5	4680,8
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	0,00129	2,8882	3	242,8	4693,0
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	0,00129	2,8887	4	243,2	4705,1
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	0,00129	2,8893	5	243,5	4717,3
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	0,00129	2,8899	6	243,8	4729,5
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	0,00129	2,8904	7	244,1	4741,7
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	0,00129	2,8910	8	244,4	4753,9
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	0,00128	2,8915	9	244,7	4766,1
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	0,00128	2,8921	78,0	245,0	4778,4
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	0,00128	2,8926	1	245,4	4790,6
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	0,00128	2,8932	2	245,7	4802,9
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	0,00128	2,8938	3	246,0	4815,2
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	0,00128	2,8943	4	246,3	4827,5
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	0,00127	2,8949	5	246,6	4839,8
786	617796	485587656	28,0357	9,2287	0,00127	2,8954	6	246,9	4852,2
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	0,00127	2,8960	7	247,2	4864,5
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	0,00127	2,8965	8	247,6	4876,9
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	0,00127	2,8971	9	247,9	4889,3
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	0,00127	2,8976	79,0	248,2	4901,7
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	0,00126	2,8982	1	248,5	4914,1
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	0,00126	2,8987	2	248,8	4926,5
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	0,00126	2,8993	3	249,1	4939,0
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	0,00126	2,8998	4	249,4	4951,4
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	0,00126	2,9004	5	249,8	4963,9
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	0,00126	2,9009	6	250,1	4976,4
797	635209	506261573	28,2312	9,2716	0,00125	2,9015	7	250,4	4988,9
798	636804	508169592	28,2489	9,2754	0,00125	2,9020	8	250,7	5001,4
799	638401	510082399	28,2666	9,2793	0,00125	2,9026	9	251,0	5014,0
800	640000	512000000	28,2843	9,2832	0,00125	2,9031	80,0	251,3	5026,5
801	641601	513922401	28,3019	9,2870	0,00125	2,9036	1	251,6	5039,1
802	643204	515849608	28,3196	9,2909	0,00125	2,9042	2	252,0	5051,7
803	644809	517781627	28,3373	9,2948	0,00125	2,9047	3	252,3	5064,3
804	646416	519718464	28,3549	9,2986	0,00124	2,9053	4	252,6	5076,9
805	648025	521660125	28,3725	9,3025	0,00124	2,9058	5	252,9	5089,6
806	649636	523606616	28,3901	9,3063	0,00124	2,9063	6	253,2	5102,2
807	651249	525557943	28,4077	9,3102	0,00124	2,9069	7	253,5	5114,9
808	652864	527514112	28,4253	9,3140	0,00124	2,9074	8	253,8	5127,6
809	654481	529475129	28,4429	9,3179	0,00124	2,9080	9	254,2	5140,3
810	656100	531441000	28,4605	9,3217	0,00123	2,9085	81,0	254,5	5153,0
811	657721	533411731	28,4781	9,3255	0,00123	2,9090	1	254,8	5165,7
812	659344	535387328	28,4956	9,3294	0,00123	2,9095	2	255,1	5178,5
813	660969	537367797	28,5132	9,3332	0,00123	2,9101	3	255,4	5191,2
814	662596	539353144	28,5307	9,3370	0,00123	2,9106	4	255,7	5204,0
815	664225	541343375	28,5482	9,3408	0,00123	2,9112	5	256,0	5216,8

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
816	665856	543338496	28,5657	9,3447	0,00123	2,9117	6	256,4	5229,6
817	667489	545338513	28,5832	9,3485	0,00122	2,9122	7	256,7	5242,4
818	669124	547343432	28,6007	9,3523	0,00122	2,9128	8	257,0	5255,3
819	670761	549353259	28,6182	9,3561	0,00122	2,9133	9	257,3	5268,1
820	672400	551368000	28,6356	9,3599	0,00122	2,9138	**82,0**	257,6	5281,0
821	674041	553387661	28,6531	9,3637	0,00122	2,9143	1	257,9	5293,9
822	675684	555412248	28,6705	9,3675	0,00122	2,9149	2	258,2	5306,8
823	677329	557441767	28,6880	9,3713	0,00122	2,9154	3	258,6	5319,7
824	678976	559476224	28,7054	9,3751	0,00121	2,9159	4	258,9	5332,7
825	680625	561515625	28,7228	9,3789	0,00121	2,9164	5	259,2	5345,6
826	682276	563559976	28,7402	9,3827	0,00121	2,9170	6	259,5	5358,6
827	683929	565609283	28,7576	9,3865	0,00121	2,9175	7	259,8	5371,6
828	685584	567663552	28,7750	9,3902	0,00121	2,9180	8	260,1	5384,6
829	687241	569722789	28,7924	9,3940	0,00121	2,9186	9	260,4	5397,6
830	688900	571787000	28,8097	9,3978	0,00120	2,9191	**83,0**	260,8	5410,6
831	690561	573856191	28,8271	9,4016	0,00120	2,9196	1	261,1	5423,7
832	692224	575930368	28,8444	9,4053	0,00120	2,9201	2	261,4	5436,7
833	693889	578009537	28,8617	9,4091	0,00120	2,9206	3	261,7	5449,8
834	695556	580093704	28,8791	9,4129	0,00120	2,9212	4	262,0	5462,9
835	697225	582182875	28,8964	9,4166	0,00120	2,9217	5	262,3	5476,0
836	698896	584277056	28,9137	9,4204	0,00120	2,9222	6	262,6	5489,1
837	700569	586376253	28,9310	9,4241	0,00119	2,9228	7	263,0	5502,3
838	702244	588480472	28,9482	9,4279	0,00119	2,9232	8	263,3	5515,4
839	703921	590589719	28,9655	9,4316	0,00119	2,9238	9	263,6	5528,6
840	705600	592704000	28,9828	9,4354	0,00119	2,9243	**84,0**	263,9	5541,8
841	707281	594823321	29,0000	9,4391	0,00119	2,9248	1	264,2	5555,0
842	708964	596947688	29,0172	9,4429	0,00119	2,9253	2	264,5	5568,2
843	710649	599077107	29,0345	9,4466	0,00119	2,9258	3	264,8	5581,4
844	712336	601211584	29,0517	9,4503	0,00118	2,9263	4	265,2	5594,7
845	714025	603351125	29,0689	9,4541	0,00118	2,9269	5	265,5	5607,9
846	715716	605495736	29,0861	9,4578	0,00118	2,9274	6	265,8	5621,2
847	717409	607645423	29,1033	9,4615	0,00118	2,9279	7	266,1	5634,5
848	719104	609800192	29,1204	9,4652	0,00118	2,9284	8	266,4	5647,8
849	720801	611960049	29,1376	9,4690	0,00118	2,9289	9	266,7	5661,2
850	722500	614125000	29,1548	9,4727	0,00118	2,9294	**85,0**	267,0	5674,5
851	724201	616295051	29,1719	9,4764	0,00118	2,9299	1	267,3	5687,9
852	725904	618470208	29,1890	9,4801	0,00117	2,9304	2	267,7	5701,2
853	727609	620650477	29,2062	9,4838	0,00117	2,9309	3	268,0	5714,6
854	729316	622835864	29,2233	9,4875	0,00117	2,9315	4	268,3	5728,0
855	731025	625026375	29,2404	9,4912	0,00117	2,9320	5	268,6	5741,5
856	732736	627222016	29,2575	9,4949	0,00117	2,9325	6	268,9	5754,9
857	734449	629422793	29,2746	9,4986	0,00117	2,9330	7	269,2	5768,3
858	736164	631628712	29,2916	9,5023	0,00117	2,9335	8	269,5	5781,8
859	737881	633839779	29,3087	9,5060	0,00116	2,9340	9	269,9	5795,3
860	739600	636056000	29,3258	9,5097	0,00116	2,9345	**86,0**	270,2	5808,8
861	741321	638277381	29,3428	9,5134	0,00116	2,9350	1	270,5	5822,3
862	743044	640503928	29,3598	9,5171	0,00116	2,9355	2	270,8	5835,9
863	744769	642735647	29,3769	9,5207	0,00116	2,9360	3	271,1	5849,4
864	746496	644972544	29,3939	9,5244	0,00116	2,9365	4	271,4	5863,0
865	748225	647214625	29,4109	9,5281	0,00116	2,9370	5	271,7	5876,5
866	749956	649461896	29,4279	9,5317	0,00115	2,9375	6	272,1	5890,1
867	751689	651714363	29,4449	9,5354	0,00115	2,9380	7	272,4	5903,8
868	753424	653972032	29,4618	9,5391	0,00115	2,9385	8	272,7	5917,4
869	755161	656234909	29,4788	9,5427	0,00115	2,9390	9	273,0	5931,0
870	756900	658503000	29,4958	9,5464	0,00115	2,9395	**87,0**	273,3	5944,7

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
871	758641	660776311	29,5127	9,5501	0,00115	2,9400	1	273,6	5958,4
872	760384	663054848	29,5296	9,5537	0,00115	2,9405	2	273,9	5972,0
873	762129	665338617	29,5466	9,5574	0,00115	2,9410	3	274,3	5985,7
874	763876	667627624	29,5635	9,5610	0,00114	2,9415	4	274,6	5999,5
875	765625	669921875	29,5804	9,5647	0,00114	2,9420	5	274,9	6013,2
876	767376	672221376	29,5973	9,5683	0,00114	2,9425	6	275,2	6027,0
877	769129	674526133	29,6142	9,5719	0,00114	2,9430	7	275,5	6040,7
878	770884	676836152	29,6311	9,5756	0,00114	2,9435	8	275,8	6054,5
879	772641	679151439	29,6479	9,5792	0,00114	2,9440	9	276,1	6068,3
880	774400	681472000	29,6648	9,5828	0,00114	2,9445	88,0	276,5	6082,1
881	776161	683797841	29,6816	9,5865	0,00114	2,9450	1	276,8	6096,0
882	777924	686128968	29,6985	9,5901	0,00113	2,9455	2	277,1	6109,8
883	779689	688465387	29,7153	9,5937	0,00113	2,9460	3	277,4	6123,7
884	781456	690807104	29,7321	9,5973	0,00113	2,9465	4	277,7	6137,5
885	783225	693154125	29,7489	9,6010	0,00113	2,9469	5	278,0	6151,4
886	784996	695506456	29,7658	9,6046	0,00113	2,9474	6	278,3	6165,3
887	786769	697864103	29,7825	9,6082	0,00113	2,9479	7	278,7	6179,3
888	788544	700227072	29,7993	9,6118	0,00113	2,9484	8	279,0	6193,2
889	790321	702595369	29,8161	9,6154	0,00112	2,9489	9	279,3	6207,2
890	792100	704969000	29,8329	9,6190	0,00112	2,9494	89,0	279,6	6221,1
891	793881	707347971	29,8496	9,6226	0,00112	2,9499	1	279,9	6235,1
892	795664	709732288	29,8664	9,6262	0,00112	2,9504	2	280,2	6249,1
893	797449	712121957	29,8831	9,6298	0,00112	2,9509	3	280,5	6263,1
894	799236	714516984	29,8998	9,6334	0,00112	2,9513	4	280,9	6277,2
895	801025	716917375	29,9166	9,6370	0,00112	2,9518	5	281,2	6291,2
896	802816	719323136	29,9333	9,6406	0,00112	2,9523	6	281,5	6305,3
897	804609	721734273	29,9500	9,6442	0,00111	2,9528	7	281,8	6319,4
898	806404	724150792	29,9666	9,6477	0,00111	2,9533	8	282,1	6333,5
899	808201	726572699	29,9833	9,6513	0,00111	2,9538	9	282,4	6347,6
900	810000	729000000	30,0000	9,6549	0,00111	2,9542	90,0	282,7	6361,7
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	0,00111	2,9547	1	283,1	6375,9
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	0,00111	2,9552	2	283,4	6390,0
903	815409	736314327	30,0500	9,6656	0,00111	2,9557	3	283,7	6404,2
904	817216	738763264	30,0666	9,6692	0,00111	2,9562	4	284,0	6418,4
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	0,00110	2,9567	5	284,3	6432,6
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	0,00110	2,9571	6	284,6	6446,8
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	0,00110	2,9576	7	284,9	6461,1
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	0,00110	2,9581	8	285,3	6475,3
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	0,00110	2,9586	9	285,6	6489,6
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	0,00110	2,9590	91,0	285,9	6503,9
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	0,00110	2,9595	1	286,2	6518,2
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	0,00110	2,9599	2	286,5	6532,5
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	0,00110	2,9605	3	286,8	6546,8
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	0,00109	2,9609	4	287,1	6561,2
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	0,00109	2,9614	5	287,5	6575,5
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	0,00109	2,9619	6	287,8	6589,9
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	0,00109	2,9624	7	288,1	6604,3
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	0,00109	2,9628	8	288,4	6618,7
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	0,00109	2,9633	9	288,7	6633,2
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	0,00109	2,9638	92,0	289,0	6647,6
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	0,00109	2,9643	1	289,3	6662,1
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	0,00108	2,9647	2	289,7	6676,5
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	0,00108	2,9652	3	290,0	6691,0
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	0,00108	2,9657	4	290,3	6705,5
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	0,00108	2,9661	5	290,6	6720,1

n	n²	n³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	π d	$\frac{1}{4}\pi d^2$
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	0,00108	2,9666	6	290,9	6734,6
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	0,00108	2,9671	7	291,2	6749,3
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	0,00108	2,9675	8	291,5	6763,7
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	0,00108	2,9680	9	291,9	6778,3
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	0,00108	2,9685	**93,0**	292,2	6792,9
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	0,00107	2,9689	1	292,5	6807,5
932	868624	809557568	30 5287	9,7680	0,00107	2,9694	2	292 8	6822,2
933	870489	812166237	30 5450	9.7715	0,00107	2,9699	3	293,1	6836,8
934	872356	814780504	30 5614	9,7750	0,00107	2,9704	4	293,4	6851,5
935	874225	817400375	30.5778	9,7785	0,00107	2,9708	5	293,7	6866,1
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	0,00107	2,9713	6	294,1	6880,8
937	877969	822656953	30.6105	9,7854	0,00107	2,9717	7	294,4	6895 6
938	879844	825293672	30.6268	9 7889	0,00107	2,9722	8	294 7	6910,3
939	881721	827936019	30 6431	9,7924	0,00106	2 9727	9	295,0	6925,0
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	0,00106	2,9731	**94,0**	295,3	6939 8
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	0,00106	2,9736	1	295 6	6954,6
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	0,00106	2,9740	2	295,9	6969,3
943	889249	838561807	30.7083	9,8063	0,00106	2,9745	3	296,3	6984,1
944	891136	841232384	30,7246	9.8097	0,00106	2,9750	4	296,6	6999,0
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	0,00106	2,9754	5	296,9	7013 8
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	0,00106	2,9759	6	297,2	7028 7
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	0,00106	2 9763	7	297,5	7043 5
948	898704	851971392	30.7896	9,8236	0,00105	2,9768	8	297,8	7058,4
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	0,00105	2,9773	9	298,1	7073,3
950	902500	857375000	30.8221	9,8305	0,00105	2,9777	**95,0**	298,5	7088,2
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	0,00105	2.9782	1	298,8	7103,1
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	0,00106	2.9786	2	299,1	7118 1
953	908209	865523177	30.8707	9,8408	0,00105	2 9791	3	299,4	7133.1
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	0,00105	2,9796	4	299,7	7148 0
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	0,00105	2,9800	5	300,0	7163,0
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	0,00105	2,9805	6	300.3	7178 0
957	915849	876467493	30.9354	9,8546	0,00104	2,9809	7	300,7	7193,1
958	917764	879217912	30,9516	9,8580	0.00104	2,9814	8	301,0	7208,1
959	919681	881974079	30,9677	9.8614	0,00104	2,9818	9	301.3	7223 2
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	0,00104	2,9823	**96,0**	301.6	7238,2
961	923521	887503681	31,0000	9 8683	0,00104	2,9827	1	301,9	7253 3
962	925444	890277128	31.0161	9,8717	0,00104	2,9832	2	302,2	7268 4
963	927369	893056317	31.0322	9,8751	0,00104	2,9836	3	302,5	7283 5
964	929296	895841344	31,0483	9.8785	0,00104	2 9841	4	302.8	7298 7
965	931225	898632125	31.0644	9,8819	0,00104	2,9845	5	303 2	7313,8
966	933156	901428696	31,0805	9,8854	0,00104	2,9850	6	303,5	7329,0
967	935089	904231063	31,0966	9 8888	0,00103	2,9854	7	303,8	7344,2
968	937024	907039232	31,1127	9.8922	0,00103	2,9859	8	304,1	7359,4
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	0,00103	2.9863	9	304,4	7374,6
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	0,00103	2,9868	**97,0**	304,7	7389,8
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	0,00103	2,9872	1	305,0	7405,1
972	944784	918330048	31,1769	9.9058	0,00103	2,9877	2	305,4	7420,3
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	0,00103	2,9881	3	305,7	7435,6
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	0,00103	2,9886	4	306,0	7450,9
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	0,00103	2,9890	5	306,3	7466,2
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	0,00102	2,9895	6	306,6	7481,5
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	0,00102	2,9903	7	306,9	7496,9
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	0,00102	2,9908	8	307,2	7512,2
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	0,00102	2,9912	9	307.6	7527 6
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	0.00102	2,9912	**98,0**	307,9	7543,0

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	log n	d = 0,1 n	πd	$\frac{1}{4}\pi d^2$
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	0,00102	2,9917	1	308,2	7558,4
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	0,00102	2,9921	2	308,5	7573,8
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	0,00102	2,9925	3	308,8	7589,2
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	0,00102	2,9930	4	309,1	7604,7
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	0,00102	2,9934	5	309,4	7620,1
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	0,00101	2,9939	6	309,8	7635,6
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	0,00101	2,9943	7	310,1	7651,1
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	0,00101	2,9948	8	310,4	7666,6
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	0,00101	2,9952	9	310,7	7682,1
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	0,00101	2,9956	99,0	311,0	7697,7
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	0,00101	2,9961	1	311,3	7713,2
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	0,00101	2,9965	2	311,6	7728,8
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	0,00101	2,9969	3	312,0	7744,4
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	0,00101	2,9974	4	312,3	7760,0
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	0,00101	2,9978	5	312,6	7775,6
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	0,00100	2,9983	6	312,9	7791,3
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	0,00100	2,9987	7	313,2	7806,9
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	0,00100	2,9991	8	313,5	7822,6
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	0,00100	2,9996	9	313,8	7838,3
1000	1000000	1000000000	31,6228	10,0000	0,00100	3,0000	100,0	314,2	7854,0

(2) *Mesure des principales surfaces planes.*

Triangle quelconque **(fig. 1) :**

$A + B + C = 180°$; $A = 180° - (B + C)$;
$C = 180° - (A + B)$; $B = D - C$;
$D = B + C$; $A = A_1$;
$B = B_1$; Aire $S = \frac{bh}{2}$ ou si l'on pose
$2p = a + b + c$, somme des trois côtés
$S = \sqrt{p\,(p-a)\,(p-b)\,(p-c)}$.

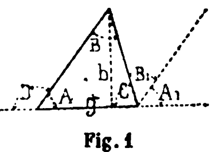


Fig. 1

Triangle rectangle **(fig. 2) :**

$C = 90° = A + B$; $c^2 = a^2 + b^2$;
$a^2 = c^2 - b^2$;
$c = \sqrt{a^2 + b^2}$; $a = \sqrt{c^2 - b^2}$;
$S = \frac{ab}{2} = \frac{ch}{2}$.

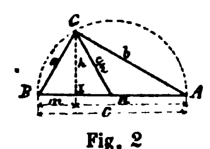


Fig. 2

Carré : a étant le côté $S = a^2$.

Rectangle : a et b étant les deux côtés $S = ab$.

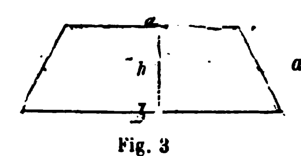


Fig. 3

Trapèze (fig. 3):

a et b étant les côtés parallèles

$$S = \frac{(a+b)h}{2}.$$

Polygones réguliers (fig. 4):

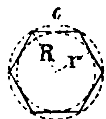


Fig. 4

c = côté; R = rayon du cercle circonscrit; r = rayon du cercle inscrit; S surface du polygone; n = nombre de côtés:

$$c = 2R \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right) = 2r \operatorname{tg}\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

$$S = nR^2 \cos\left(\frac{180^\circ}{n}\right) = nr^2 \operatorname{tg}\left(\frac{180^\circ}{n}\right) = \frac{nc^2}{4} \operatorname{cotg}\left(\frac{180^\circ}{n}\right).$$

Cercle (fig. 5):

C = circonférence; r = rayon; d = diamètre; S = surface:

$$C = \pi d = 2\pi r$$



Fig. 5

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}785\, d^2 \quad \text{ou} \quad S = \pi R^2$$

(π = 3,14159:653589; $\log \pi$ = 0,4971499).

Secteur (fig. 6):

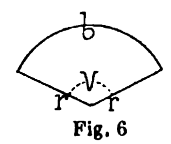


Fig. 6

b = arc; V = angle au centre;

$$b = \frac{\pi r V}{180}; \quad S = \frac{br}{2} = \frac{\pi r^2 V}{180} = 0{,}0087\, V r^2;$$

$$V = \frac{180 b}{\pi r} = 57{,}326 \frac{b}{r}.$$

Segment (fig. 7):

h
s/2 s/2
T

Fig. 7

h = flèche; s = corde du segment:

$$S = \frac{ar - s(r-h)}{2} = \left(\frac{\pi A}{180^\circ} - \sin A\right)\frac{r^2}{2};$$

$$s = 2\sqrt{h(2r-h)}$$

$$r = \frac{\frac{s^2}{2} + h^2}{2h}; \qquad h = r \pm \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}}$$

Couronne (fig. 8):

$$d = R - r; \qquad R = d + r;$$

$$S = \pi R^2 - \pi r^2 = \pi (R^2 - r^2) = \pi (R + r)(R - r)$$

$$S = \pi (2r + d) d.$$

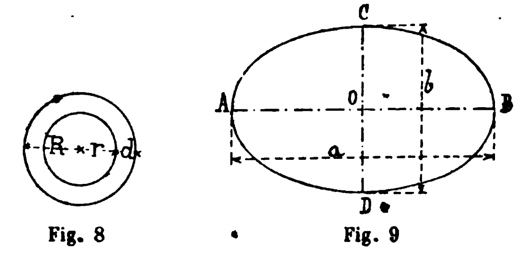


Fig. 8 Fig. 9

Ellipse (fig. 9):

$a =$ grand axe; b petit axe; $S = \frac{\pi ab}{4}$.

(3) *Mesure des principaux solides pour les jaugeages.*

Solides	Surface latérale S	Volume V
(1) Cylindre droit.	$S = 2\pi rh.$	$V = \pi r^2 h = 0,785\, d^2 h.$
(2) Cylindre droit à section oblique.	$S = \pi r(h_1 + h_2).$	$V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}.$

Géométrie à trois dimensions (Suite).

Solides.	Surface convexe S.	Volume V.
(3) Cylindre creux.	$S = 2\pi h(r_1 + r_2)$.	$V = \pi h(r_1^2 - r_2^2)$.
(4) Onglet cylindrique.	$S = \text{surf ABCD} = 2rh$	$V = \frac{2}{3} r^2 h$.
(5) Sphère.	$S = 4\pi r^2 = 12{,}56 r^2$ $= \pi d^2$.	$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = 4{,}189 r^3$ $= \frac{\pi d^3}{6} = 0{,}5236\, d^3$.
(6) Secteur sphérique.	$S = \frac{\pi r}{2}(4h + d)$.	$V = \frac{2}{3}\pi r^2 h = 2{,}0944 r^2 h$.

Géométrie à trois dimensions (Suite).

Solides.	Surface convexe S.	Volume V.
(7) Segment sphérique.	$S = 2\pi rh$ $= \frac{\pi}{4}(d^2 + 4h^2)$ = l'aire du cercle qui a pour rayon la corde menée du pôle du segment à sa circonférence.	$V = \pi h^2 \left(r - \frac{1}{3}h\right)$ $= \pi h \left(\frac{d^2}{8} + \frac{h^2}{6}\right)$.
(8) Zone sphérique	$S = 2\pi rh$.	$V = {}^1/_6 \pi h(3a^2 + 3b^2 + h^2)$.

Solides	Surface latérale S	Volume V
(9) Prisme droit	S = périmètre de base × hauteur.	V = longueur × largeur × hauteur.
(10) Solide quadrangulaire à deux bases parallèles.	S = somme des quatre trapèzes;	$V = \frac{h}{6}[(2a + a_1)b + (2a_1 + a)b_1]$.

Géométrie à trois dimensions (Suite).

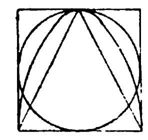
Solides	Surface latérale S	Volume V
(11) Coin.	S = somme des deux trapèzes et des deux triangles latéraux ;	$V = (2a + a_1)\frac{bh}{6}$.
(12) Pyramide et cône.	Surface de la pyramide : S = périmètre de la base $\times \frac{1}{2}$ hauteur des triangles latéraux. Surface du cône $S = \pi r s = \pi r\sqrt{r^2 + h^2}$.	$V = \frac{h}{3} \times$ base.
(13) Tronc de pyramide.	S = somme des trapèzes latéraux.	En appelant S et s les deux bases, on a : $V = \frac{h}{3}(S + s + \sqrt{Ss})$.

Géométrie à trois dimensions (Suite).

Solides	Surface convexe S	Volume V
(14) Tronc de cône à bases parallèles.	$S = \pi s(R+r)$;	$V = (R^2 + r^2 + rR)\frac{\pi h}{3}$ $= \frac{D^2 + d^2 + dD}{12}\pi h.$
(15) Tore.	$S = 4\pi^2 Rr$, $= 39,478 Rr$; $= 9,87 Dd$.	$V = 2\pi^2 Rr^2 = 2,467 Dd^2$
(16) Ellipsoïde à trois axes inégaux.	—	$V = \frac{1}{6}\pi abc.$ $= 0,5236\, abc$ Si $b = c$, ellipsoïde de révolution, $V = \frac{1}{6}\pi a b^2$ $= 0,5236\, a b^2$

Géométrie à trois dimensions (Suite).

Solides.	Surface convexe S	Volume V.
(17) Paraboloïde de révolution.	—	$V = \frac{\pi}{8} d^2 h$. La moitié du cylindre de même base et de même hauteur.
(18) Tonneau. *	—	$V = 0{,}262 l (2D^2 + d^2)$ ou : $V = 1{,}0453 l [0{,}4 D^2 + 0{,}2 D d + 0{,}15 d]^2$. (formules approximatives).



Les volumes des cônes, paraboloïdes de révolution, sphères et cylindres de même base et de même hauteur sont entre eux dans le rapport :

$^1/_3$, $^1/_2$, $^2/_3$, 1.

Le volume de la sphère est 0,5236 de celui du cube circonscrit.

* Les cotes l d D s'appliquent aux mesures intérieures du tonneau.

CHAPITRE II

Documents commerciaux.

(4) MESURES ÉTRANGÈRES

Le système métrique français, *monnaies exceptées*, est obligatoire en : France, Belgique, Italie, Suisse, Espagne, Portugal, Hollande, Allemagne, Autriche-Hongrie, Roumanie, Grèce, Suède et Norvège, Vénézuéla, Mexique et la plupart des républiques de l'Amérique du Sud.

Il est légal, mais non obligatoire, en Angleterre, au Canada, aux États-Unis, et à vrai dire, fort peu employé dans ces pays. Nous renvoyons aux ouvrages spéciaux pour les tables de conversions complètes, et entre autres aux « Notes et formules de M. Cl. de Laharpe (1) ».

Notre but est surtout de donner des renseignements, souvent peu connus, permettant la lecture facile des ouvrages et journaux étrangers relatifs à notre industrie.

(5) *Mesures linéaires anglaises et américaines.*

1 fathom = 2 yards. 1 yard = 3 feet.
1 foot = 12 inches.

Fathom et yards correspondent à toise et vare, foot (feet) à pied (pieds), inches à pouces. Les divisions du pouce se comptent ensuite en fractions ordinaires, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.

Abréviations usuelles : 2' 5" 3/4 = 2 pieds, 5 pouces et 3/4 de pouce.

1/2	pouce	(inche)	=	12,70	millimètres
1/4	»	»	=	6,35	»
1/8	»	»	=	3,175	»
1/16	»	»	=	1,587	»
1/32	»	»	=	0,794	»

(1) *Notes et Formules de l'Ingénieur et du Constructeur-Mécanicien*, par Cl. de Laharpe, 9e édition, 1893, Pages 689 et suivantes. — E. Bernard et Cie, éditeurs.

Yards.	Mètres.	Feet (pieds).	Mètres.	Inches (pouces)	Mètres.
—	—		—		-
1	0,9144	1	0,3048	1	0,02540
2	1,8288	2	0,6096	2	0,05080
3	2,7431	3	0,9144	3	0,07620
4	3,6575	4	1,2192	4	0,10160
5	4,5719	5	1,5240	5	0,12700
6	5,4863	6	1,8287	6	0,15239
7	6,4007	7	2,1335	7	0,17779
8	7,3150	8	2,4383	8	0,20319
9	8,2294	9	2,7431	9	0,22859
10	9,1438	10	3,0479	10	0,25399
				11	0,27939
				12	0,30479

100 mètres	= 328 feet	= 1,08	inches
10 »	= 32 »	= 9,71	»
1 »	= 3 »	= 3,37	»
0,1	=	3,937	»
0,01	=	0,394	»
0,001	=	0,039	»

Ces mesures sont légales en Angleterre, aux États-Unis et au Canada. On les emploie en outre pour les machines, en Russie et dans toute l'Amérique du Sud, concurremment avec le système métrique.

(6) *Mesures de capacité anglaises.*

L'étalon employé pour les liquides est le *gallon*.

Le gallon anglais ou « *Imperial gallon* » est ainsi défini par le parlement anglais : mesure contenant 10 livres d'eau distillée à la température de 62°.5 Fah. Il doit contenir 277,274 *cubic inches* ou pouces cubes.

1 gallon = 4 quarts = 8 pints = 160 fluid ounces.

	Cubic inches ou pouces cubes	Fluid ounces	Pints ou pintes	Quarts	Gallon (Impérial)
	Cent. cubes	Cent. cubes	Litres	Litres	Litres
1	16,38618	28,3966	0,56793	1,13586	4,54346
2	32,77235	56,7932	1,13586	2,27173	9,08692
3	49,15853	85,1898	1,70380	3,40758	13,63037
4	65,54470	113,5864	2,27173	4,54346	18,17383
5	81,93088	141,9830	2,83966	5,67932	22,71729
6	98,31706	170,3797	3,40759	6,81518	27,26075
7	114,70323	198,7763	3,97552	7,95105	31,80421
8	131,08941	227,1729	4,54346	9,08691	36,34766
9	147,47558	255,5695	5,11139	10,22278	40,89112
10	163,86176	283,9661	5,67932	11,35864	45,43458

1 mètre cube = 220,096677 gallons. 1 litre = 1,76077 pint.
1 litre = 61,02705 cubic inches.

On emploie en outre, pour les cubages et la mesure du gaz, le pied cube :

1 cubic foot = 1728 cubic inches = 0,02831541 mètres cubes.

Pour les graines on emploie les mesures suivantes :

1 buschel (boisseau) = 8 gallons = 36lit.347664
1 sak (sac). . . . = 3 bushels = 109,0430
1 quarter . . . . = 8 bushels = 290,7813
1 chaldron. . . . = 12 saks = 1208,5160

(7) *Mesures de capacité américaines.*

A l'exception des pieds et pouces cubes qui sont les mêmes qu'en Angleterre, les mesures de capacité américaines, quoique portant les mêmes noms, en diffèrent considérablement, elles diffèrent même d'État à État dans la confédération des États-Unis. On devra donc se mettre en garde pour éviter toute fausse interprétation. Une exception doit être faite pour le " *Standara gallon* " mesure légale adoptée par le commerce et la douane des États-Unis, et qui en outre, sert de base pour toutes les transactions d'alcool et de mélasses dans tous les ports de l'Amérique du sud et les Antilles, voire même aux Antilles françaises.

Par définition légale: 1 standard american gallon = 231 pouces cubes = 58372,1754 grains = 8,3389 livres avoir du poids, d'eau distillée à son maximnm de densité sous une pression atmosphérique de 30 pouces.

Standard Gallons	Litres	Standard Gallons	Litres
1	3,78521	6	22,71124
2	7,57041	7	26,49645
3	11,35562	8	30,28165
4	15,14083	9	34,06686
5	18,92603	10	37,85206



Comme autres mesures de capacité employées aux États-Unis, nous indiquerons :

1 gallon pour la bière = 282 pouces cubes = 4,61110 litres.

Le bushel le plus employé pour les grains est l'ancien bushel de Winchester contenant 77,627413 livres d'eau distillée, soit 35,196 litres ; cependant le bushel de New-York contient 80 livres d'eau distillée, c'est sensiblement le bushel anglais (Imperial) de 36,348 litres.

(8) *Mesures de superficie anglaises et américaines.*

1 square mile = mille carré	=	2,588881 kilomètres carrés
1 square yard = vare carrée	=	0,83609713 mètres carrés
1 square foot = pied carré	=	0,09289968 »
1 square inche = pouce carré	=	6,451366 centimètres carrés.
1 rod.	=	25,2913939 mètres carrés
1 rood = 1210 square yards	=	10,116775 ares
1 acre = 4840 » »	=	0,404671 hectares.

Mêmes réserves pour ces trois dernières mesures employées en Amérique.

Abréviations : 1 □' = pied carré ; 2 □" = pouces carrés.

(9) *Poids anglais et américains.*

(*a*) Poids commerciaux :

Dans les deux pays la base légale du système commercial est « *la livre avoir du poids* » (Pound avoir du poids, ou Pound-weight).

Avds. lbs.	Kilogr.	Grains.	Grammes.
1. . . .	0,45359	1. . . .	0,06480
2. . . .	0,90719	2. . . .	0,12960
3. . . .	1,36078	3. . . .	0,19440
4. . . .	1,81437	4. . . .	0,25920
5. . . .	2,26797	5. . . .	0,32400
6. . . .	2,72156	6. . . .	0,38879
7. . . .	3,17515	7. . . .	0,45359
8. . . .	3,62874	8. . . .	0,51839
9. . . .	4,08234	9. . . .	0,58319
10. . . .	4,53593	10. . . .	0,64799

1 Avd. lb. = 1 lb. = 7000 grains = 0^k,45359

Les subdivisions de la livre avoir du poids sont peu employées, on rencontre cependant l'once :

1 ounce avoir du poids = 1 Avd. oz. = 1/16 lb. = 28,34954 gr.

Les multiples de la livre Avd. sont employés dans les deux pays avec les mêmes noms, mais n'ont pas la même valeur.

EN ANGLETERRE :

1 quarter . . .	= 1 qr. =	28 lb. =	1/4 quintal =	12,7005 kg.
1 hundred weight	= 1 cwt. =	112 lb. =	1 quintal =	50,8024 »
1 ton	= 1 t. =	2240 lb. =	1 tonne =	1016,05 »

AUX ÉTATS-UNIS :

1 quarter . . .	= 1 qr. =	25 lb. =	1/4 quintal =	11,33975 »
1 hundred weight (1)	= 1 cwt. =	100 lb. =	1 quintal =	45,359 »
1 ton. . . .	= 20 cwt. =	2000 lb. =	1 tonne =	907,18 »

Dans la marine anglaise on emploie en outre les termes pratiques suivants :

1° Pour le chargement des marchandises encombrantes :

Ton by measurement, ou tonneau d'encombrement = 40 pieds cubes anglais = 1^{m3},132.

2° Pour le déplacement des navires :

Ton of displacement, ou tonneau de déplacement = 36 pieds cubes d'eau douce ou = 35 pieds cubes d'eau de mer.

100 kilogrammes = 220,4621 avd. lbs.

(*b*) Poids médicinaux et d'analyse :

La base, fort peu employée par elle-même est l'*Imperial troy pound* ou livre troy.

1 *lb. troy* = 12 troy ounces = 96 drams = 288 scruples = 5760 grains.
L'*once* = 1 ounce troy = 1 oz. troy = 480 grains =
= 1/12 lb. troy = 31,0913 gr.
Le *drachme* = 1 dram = 1 dr. = 60 grains =
= 1/8 oz. troy = 3,8864 »
Le *scrupule* = 1 scruple = 1 sc. = 20 grains =
1/3 dr. = 1,2961 »
Le *denier* = 1 penny-weight = 1 pw. = 24 grains =
1/20 oz. troy = 1,5546 »

(1) Cet hundred-weight en Angleterre prend le nom de *cental.*

Ces poids sont souvent indiqués dans les ouvrages par les abréviations suivantes :

℥ onces.
℥*i* une once.
℥*ss* une demi-once.
℥*iss* une once et demie.
℥*ij* deux onces.

ʒ drachmes.
ʒ*i* un drachme.
ʒ*ss* un demi-drachme.
ʒ*iss* un drachme et demi.
ʒ*iij* trois drachmes.

℈ scrupules.
℈*i* un scrupule.
℈*ss* un demi-scrupule.
℈*iss* un scrupule et demi.
℈*ij* deux scrupules.

Le poids d'un objet étant donné en livres anglaises (Avds. lbs.) par pied courant, pour avoir ce poids en kilogrammes par mètre courant il faut le multiplier par 1,4876.

$$\left(1{,}4876 = \frac{3{,}28089}{2{,}20566} = \frac{\text{rapport du mètre au pied}}{\text{rapport du kilog. à la livre}}\right).$$

(10) *Monnaies étrangères.*

Nous ferons ici abstraction des variations de la valeur intrinsèque des pièces de chaque pays, dues aux légères différences de poids ou de titre, différences qui par elles-mêmes sont inférieures à 1 $^{0}/_{0}$. D'ailleurs, ces *valeurs or*, les seules que l'on doive considérer dans les échanges internationaux à l'époque actuelle, sont soumises aux variations journalières du change ; donc, pour l'exactitude absolue, il faudra se reporter aux journaux de bourse et de banque (1).

Notre but est simplement de faciliter la lecture des cours des principaux marchés étrangers. On remarquera que tous ces étalons d'or peuvent se rapporter au dollar ou au sou.

Principales abréviations :

£ = livre sterling ; $ = dollar = peso ou piastre or ;
sh. = shelling ; p. = penny ; mk. = mark d'or ;
c. = ct. ou cts. = cent ou cents = centavos ou sous.

(1) Pour les valeurs légales, diamètre, poids des pièces, etc. voir *Annuaire du Bureau des Longitudes*.



Noms des Pays	Désignation des monnaies	Valeur en francs	Valeur en £	Valeur en shellings ou marks	Valeur en $	Valeur ou cents ou sous
FRANCE, UNION LATINE VENEZUELA	Étalon d'or = pièce de 20 francs	20	0,8	16	4	400
	Monnaie de compte = 1 francs.	1	»	»	»	20
	» » pièce de 5 centimes	»	»	»	»	1
ANGLETERRE ET COLONIES	Etalon d'or = 1 £ ou livre sterling	25	1	20	5	500
	Monnaie de compte : shelling = 12 pence.	1,25	»	1	1/4	25
	» » penny (exactement 2,08 sous)	»	»	»	»	2
ALLEMAGNE	Etalon d'or = pièce de 20 marks	25	1	20	5	500
	Mark d'or (fictif)	1,25	»	1	1/4	25
ESPAGNE ET COLONIES	Etalon d'or = Alphonsine (25 pesetas)	25	1	20	5	500
	Monnaie de compte : Peso (ou Douro) (1)	5	»	4	1	100
	Peseta (1) = 100 centimos	1	»	»	»	20
	Centavo (1)	»	»	»	»	1
ETATS-UNIS D'AMÉRIQUE	Aigle d'or (Eagle) = 10 $	50	2	40	10	1000
	Dollar = $	5	»	4	1	100
	Cent.	0,05	»	»	»	1

(1) Le système légal en Espagne est le système français, mais il n'est employé que dans la Péninsule, ainsi que les termes de : *douro, peseta et centimo qui se rapportent à l'étalon argent*. Les termes *peso oro* et *centavo* employés aux Antilles, et dans la plupart des républiques sud-américaines, ne sont que des monnaies de compte équivalant à dollar et à cents.
1 $ = 1 peso = 100 centavos = 5 francs ; 5 pesos = 1 Alphonsine ou *Centene*.

N. B. — Quoique le real d'Espagne vaille 0,25 centimos, le real en Amérique est la pièce de 10 sous ou *dime* des Etats-Unis ; et *le real commercial* employé sur certains marchés *est le real fort* ou *real fuerte*.
8 reales fuertes = 1 peso = 1 $; 1 réal fuerte = 12 cts. 1/2.

Pour les valeurs exactes, voir *Annuaire du Bureau des Longitudes*.

Autres Pays

Mesures.			Monnaies.		francs
RUSSIE					
1 berkowetz	=	163,72 kilog.	Or : 5 roubles	=	20
1 poud	=	16,37 —	Argent : rouble	=	3,95
100 livres de Riga	=	41,80 —	Cuivre : kopeck	=	0,0395
1 tschetwert	=	209,90 litres.	Les comptes se font en rouble papier (environ 2 fr. 50, cours variable).		
1 tschetwerka.	=	6,56 —			
TURQUIE					
100 ocques de Constantinople	=	128,30 kilog.	Or : medjidieh (100 piastres)	=	22,30
100 ocques de Dalmatie.	=	131,78 —	Argent : piastres	=	0,223
1 quintal (44 ocq. de Const.)	=	56,45 —	Cuivre : para (40 paras = 1 piastre)	=	0,005
EGYPTE					
100 rotoli.	=	44,50 kilog.	Or : 100 piastres = 1 £	=	25
1 ardeb	=	1,832 hectol.			
TUNIS					
100 rotoli	=	43,62 kilogr.	Or : 100 piastres	=	60,40
CHINE					
1 pecul	=	60 kilogr.			
SIAM					
1 pecul	=	61,30 kilogr.			
JAVA					
1 pecul	=	61,76 kilogr.			
JAPON					
100 cattys.	=	59 kilogr.	1 yen d'or = environ 1 $ (dollar)	=	5
CUBA					
1 arroba (25 livres) ou (a	=	11,5 kilogr.	Or : 1 Alphonsine = 5 $	=	25
1 quintal (4 arr. ou 100 livres)	=	46,0 —	Peso = 1 $	=	5

(11). *Clefs pour la lecture des principales mercuriales étrangères.*

1° Alcools.

N. B. — Il est presque impossible de donner des clefs simples pour l'alcool dont les conditions varient dans chaque pays d'une place à l'autre pour le degré, le logement, la qualité, etc., nous indiquerons seulement les principales habitudes commerciales des marchés étrangers.

Allemagne. — Les alcools rectifiés et flegmes sont cotés en marks par 100 litres à 100° Tralles, tantôt nus tantôt logés. Pour ramener à l'hectolitre 90° en marks retrancher 1/10; pour ramener en francs ajouter 1/4.

Exemple : La cote de Berlin est 33,50.

33,50 — 3,35 = mk. 30,15 l'hectolitre 90°
mk. 30,15 + 7,54 = fr. 37,69 » »

Quoique ce mode de coter soit officiel, l'usage de vendre au poids par 100 kilogrammes d'alcool pur est aujourd'hui le plus employé pour les grosses transactions et va probablement devenir officiel en Allemagne.

Angleterre. — Il n'y a pas de bourse de l'alcool dans le Royaume-Uni, par conséquent pas de cote officielle. Les transactions se font en shellings et pence par Impérial Gallon, *proof spirit*. Quelquefois, pour les alcools rectifiés, en *gallon standard spirit*, (voir table 40). Ces cotes se rapportent en général à des variétés déterminées : *Gin*, *Brandy*, *Wiskey*, *Rum*, etc. Nous n'indiquerons donc pas de clef, on peut simplement compter pour la pratique :

1 gallon anglais *proof spirit* = 2 litres,61 d'alcool 100°.

Etats-Unis. — Les cours sont cotés en dollars et cents par *standard gallon* ou par *pipe* de 125 gallons (soit 473 litres). Les flegmes ont en général 10° over proof, les tafias importés 40° ov. pr., et les alcools fins 62 ov. pr.

Antilles Anglaises. — Les tafias se cotent en shellings et pence par gallon anglais. Degré ordinaire 40° over proof.

ANTILLES ESPAGNOLES. — Les tafias sont cotés par pipe de 125 gallons américains ou 473 litres, les prix en *pesos oro* ou $, le degré courant est 21° Cartier couvert (on ne tient pas compte de la température) soit 54° G. L. en moyenne.

Les alcools d'importation (genièvre, eau-de-vie etc.) se cotent en $ par *garrafones* ou dames-jeannes.

1 garrafon = 5 standard gallons = 18 lit. 9.

AUTRICHE. — A Prague on cote en florins d'Autriche par hectolitre d'alcool 100°.

A Trieste en florins par hect. à 89-90° Tralles.

ESPAGNE. — A Barcelone on cote en pesetas par pipe de 500 litres à 39-40° Cartier.

ITALIE. — On cote en lires (francs) par quintal métrique de 100 kilogrammes soit à 94-95° G. L, soit à 90°. S'assurer suivant les places si l'on a affaire aux *lires or* ou aux *lires papier*.

RUSSIE. — Les cotes sont très variables suivant les marchés, en général les cours s'inscrivent en kopecks papier par degré wedro.

SUISSE. — L'État Suisse a pris le monopole de l'alcool, ses achats à l'étranger se font généralement par 100 kilos d'alcool pur.

2° SUCRES ET MÉLASSES.

ALLEMAGNE. — *Sucres* : Cotés en marks par zollcentner ou quintal de douane de 50 kilogrammes.

Clef : $C \times 2$ pour avoir le prix en mark du sac français ; ajouter 1/4 pour avoir le prix en francs.

Exemple : La cote est mk. 15 :

$$15 \times 2 = 30 \text{ marks les 100 kilogr.}; \quad 30 + \frac{30}{4} = \text{fr. } 37{,}50$$

ANGLETERRE. — *Sucres* : On cote en shellings par hundred-weight ou *cwt.* de 112 lb. = 50 k.,8.

$$\textit{Clef}: \; C \times 2 + {}^1/_4 - 1\,{}^1/_2\,\%.$$

Exemple : La cote est sh 15 :

$$15 \times 2 = 30; \qquad 30 + {}^1/_4\,30 = 37{,}50;$$
$$37{,}50 - 1\,{}^1/_2\,\% = \text{fr. } 37{,}16 \text{ les 100 kilogrammes.}$$

AUTRICHE. — *Sucres* : On cote en florins par 100 k. multiplier la cote par le cours du florin.

(Le florin est trop sujet au change pour permettre l'emploi d'une clef).

Etats-Unis. — *Sucres* : On cote en cents par livre

Clefs : C × 2,2 = prix des 100 kilogr. en dollars,
C × 11 = » » en francs.

Exemple : La cote de New-York est 3 1/4

3,25 × 2,2 = $ 7,15; 3,25 × 11 = fr. 35,75 les 100 kilogr.

Mélasses : On cote en cents par St. gallon à 40° B.

Clefs : C × 0,52 = prix des 100 kilogr. en dollars,
C × 2,6 = « » en francs.

Exemple : La cote est 2 ;

2 × 0,52 = $ 1,04; 2 × 2,6 = fr. 5,20 les 100 kilogr.

Antilles Espagnoles. — *Sucres* : On cote en *reales fuertes* par arroba ou @.

Clefs : C × 1,086 = prix des 100 kilogr. en pesos oro ou $.
C × 5,43 = » » en francs.

Exemple : La cote de la Havane est : 6 r. p. @

6 × 1,086 = $ 6,52; 6 × 5,43 = fr. 32,58 les 100 kilogr.

Mélasses : On cote en centavos par St. gallon comme aux Etats-Unis, mêmes clefs.

N. B. — Aux Etats-Unis et à Cuba on emploie parfois les termes suivants pour les ventes en gros ou les estimations d'existence en magasin.

Hogshead = *Bocoye* = Boucaut = 560 à 600 kilogrammes de sucre suivant qualité de ces derniers.

Les mêmes termes employés pour la mélasse s'appliquent au boucaut de

175 St. gallons = 662 litres ou 920 kilogr. à 40° B.

Barrel = 1/4 *Bocoye* = Baril = 140 à 150 kilog. de sucre.
Bag = *Sacco* = Sac.

Les sacs sont réglés suivant les localités à 12 quarters (env. 136 kilogr.) ou 13 quarters (env. 147 kilogr.) aux Etats-Unis. — De même à Cuba ils sont réglés à 12 @ = 137 kilogrammes ou à 13 @ = 149 kg,5.

C'est le réglage à 13 qtrs. ou 13 @ qui est le plus

fréquent. On peut donc comme approximation en lisant les mercuriales, estimer :

1 sac américain ou cubain $= 1 \, ^1/_2$ sac français.

3° Grains.

Allemagne. — On cote en marks par tonne de 1000 kilos sur les places du Nord, et en marks par zollcentner sur les places de Bavière.

Dans le premier cas, on divise par $10 + 1/4$ pour avoir le cours en francs par 100 kilogrammes.

Dans le deuxième cas :

$C \times 2 + 1/4 =$ prix en francs par 100 kilogrammes.

Angleterre, Australie et Colonies Anglaises (1). Les deux principaux marchés sont Londres et Liverpool.

1° *A Londres :* On cote les grains en shellings et pence par *Imperial quarter* de 8 bushels = 290,78 lit. et ces grains doivent avoir un poids déterminé, savoir :

400 lb. pour les orges (*Barley*).
320 » pour les avoines (*Oats*) ou 304 lb. au minimum.
500 » pour les blés (*Wheat*) de Californie.
496 » pour les blés anglais.
492 » pour les blés de la Mer Noire et des Indes.
480 » pour les blés d'Amérique, Chili, Australie et Danube.
480 » pour les seigles (*Rye*).
480 à 492 lb. pour les maïs (*Maize*).

2° *A Liverpool :* On cote en shellings et pence par cental de 100 avd. lb. ou hundred-weight americain = 45 k, 36.

Autriche-Hongrie. — On cote en florins par 100 k. Multiplier la cote par la valeur au pair du florin.

Etats-Unis d'Amérique. — Sur les places de Chicago, New-York, Philadelphie, etc, (Côte est), on cote en dollars par bushel de 35 lit. 2. Le poids varie avec les grains et le bushel est variable, pour ces cotes voir les carnets spéciaux. Comme moyenne pour le blé

1 bushel = 60 lb. avd. = 27 kg,215.

(1) Ces cours nécessitent un calcul complet ou des tables. Voir à ce sujet l'*Agenda-memento du Meunier* et le *Nouveau carnet Anthonis*.

A San-Francisco et la Californie (versant du Pacifique) on cote en dollars par cental de 100 lb. avd. comme à Liverpool.

Clefs : C × 2,2 = prix par 100 kilogrammes en dollars,
C × 11 = » » » en francs.

Exemple : La cote du blé à San-Francisco est $ 1,70 :
1,70 × 2,2 = $ 3,74 ; 1,70 × 11 = fr. 18,70 les 100 kilogrammes.

Russie. — Sur les grands marchés les grains sont cotés en kopecks papier par poud (voir table **10**). A cause du change du rouble faire le calcul au cours du jour.

Egypte. — On cote en piastres argent par ardeb (voir table **10**).

CHAPITRE III

Documents relatifs à la Construction.

(**12**) *Poids par mètre courant des fers carrés et ronds.*

Diamètre ou côté mm.	Fer quarré kil.	Fer rond kil.	Diamètre ou côté mm.	Fer quarré kil.	Fer rond kil.	Diamètre ou côté mm.	Fer quarré kil.	Fer rond kil.	Diamètre ou côté mm.	Fer quarré kil.	Fer rond kil
5	0,195	0,153	24	4,481	3,520	43	14,39	11,30	110	93,16	73,9
6	0,280	0,220	25	4,863	3,819	44	14,90	11,83	115	102,9	80,84
7	0,381	0,299	26	5,259	4,131	45	15,75	12,37	120	112,0	88,01
8	0,498	0,391	27	5,672	4,455	46	16,46	12,93	125	121,6	95,4[illegible]
9	0,630	0,495	28	6,100	4,791	47	17,19	13,50	130	131,5	103,38
10	0,778	0,611	29	6,543	5,139	48	17,93	14,08	135	141,8	111,4
11	0,931	0,739	30	7,002	5,499	49	18,68	14,67	140	152,5	119,8
12	1,120	0,880	31	7,477	5,872	50	19,45	15,28	145	163,6	128,5
13	1,315	1,033	32	7,967	6,257	55	23,28	18,48	150	175,1	137,5
14	1,525	1,198	33	8,382	6,654	60	28,01	22,00	155	186,9	146,8
15	1,751	1,375	34	8,994	7,064	65	32,87	25,82	160	199,2	156,4
16	1,992	1,564	35	9,531	7,485	70	38,12	29,94	165	209,6	166,4
17	2,248	1,766	36	10,08	7,919	75	43,76	34,37	170	224,8	176,6
18	2,521	1,980	37	10,65	8,365	80	49,79	39,11	175	238,3	187,1
19	2,809	2,206	38	11,23	8,823	85	56,21	44,15	180	252,1	198,0
20	3,112	2,444	39	11,93	9,294	90	63,02	49,49	185	266,3	209,1
21	3,422	2,685	40	12,45	9,776	95	70,21	55,15	190	280,9	220,6
22	3,726	2,967	41	13,08	10,27	100	77,80	61,10	195	295,9	232,3
23	4,116	3,232	42	13,69	10,78	105	85,55	67,37	200	311,2	244,3

(13) *Poids par mètre courant des cornières à ailes égales.*

Épaisseurs mm	100 × 100 kil.	90 × 90 kil.	85 × 85 kil.	80 × 80 kil	75 × 75 kil.	Épaisseurs mm	70 × 70 kil.	65 × 65 kil.	60 × 60 kil.	55 × 55 kil.	50 × 50 kil
15	21,6	19,3	18,1	—	—	12	11,9	11,0	—	—	—
14,5	20,9	18,7	17,5	—	—	11,5	11,5	10,6	—	—	—
14	20,3	18,1	17,0	15,9	—	11	11,0	10,2	9,35	—	—
13,5	19,6	17,5	16,4	15,4	—	10,5	10,6	9,8	8,95	—	—
13	19,0	16,9	15,9	14,9	—	10	10,1	9,4	8,60	7,80	—
12,5	18,3	16,3	15,3	14,4	—	9,5	9,7	8,9	8,18	7,44	—
12	17,6	15,7	14,7	13,8	12,9	9	9,2	8,5	7,80	7,09	6 38
11,5	16,9	15,1	14,2	13,3	12,4	8,5	8,7	8,0	7.38	6,72	6,06
11	16,2	14,5	13,6	12,8	11,9	8	8,2	7,5	7,00	6,36	5,74
10,5	15,5	13,9	13,0	12,3	11,4	7,5	—	7,0	6,57	5,99	5,40
10	14,8	13,3	12,5	11 7	10,9	7	—	—	6.20	5,62	5,01
9,5	—	—	—	11,1	10,4	6,5	—	—	—	5,25	4,73
9	—	—	—	10,5	9,9	6	—	—	—	4,86	4,02
8.5	—	—	—	10,0	9,4	5,5	—	—	—	—	4.0
						5	—	—	—	—	3,

(14) *Poids moyen en kilogrammes par mètre carré des feuilles des divers métaux.*

Epaisseur en *mm*	Tôle de fer	Fonte	Acier	Cuivre	Laiton	Plomb	Zinc environ
1	7,78	7,25	7,87	8,90	8,55	11,4	1,00
2	15,56	14,50	15,74	17,80	17,10	22,8	14.00
3	23,34	21,75	23,61	26.70	25,65	34,2	21,00
4	31,12	29,00	31,48	35,60	34.20	45,6	28,00
5	38,90	36,25	39,35	44,50	42,75	57,9	35,00
6	46,68	43,50	47,22	53,40	51,30	68,4	42,00
7	54,46	50,75	55,09	62,30	59,85	79,8	49,00
8	62,24	58,00	62,96	71,20	68,40	91,2	56 00
9	70,02	65,25	70,83	80,10	76,95	102,6	63.00
10	77,80	72,50	78,70	89,00	85,50	114,0	70,00
11	85,58	79,75	86,57	97,90	94,05	125,4	77,00
12	93,36	87,00	94,44	106.80	102,60	136,8	84,00
13	101,14	94,25	102,31	115,70	111,15	148,2	91,00
14	108,92	101,50	110,18	124.60	119,70	159,6	98,00
15	116,70	108,75	118,05	133,50	128,25	171,0	105,00
16	124,48	116,00	125,92	142,40	136,80	182,4	112,00
17	132,26	123,25	133,79	151,30	144,35	193,8	118,00
18	140,04	130,50	141,66	160,20	153,90	205.2	126,00
19	147,82	137,75	149,53	169,10	162,45	216,6	133,00
20	155,60	145,00	157,40	178.00	171,00	228 0	140,00

(15) *Poids moyen des tuyaux en fonte par mètre courant.*

Diamètre intérieur, en *mm.*	Épaisseurs des parois en *mm.*							
	5	10	15	20	25	30	35	40
25	3,417	7,975	14,64	20,59	28,47	37,58	47,88	59,22
30	3.987	9,113	15,38	22,78	31,32	41,00	51,81	63.73
35	4,557	10,25	17,08	23.61	34,17	44,41	55,80	68,32
40	5,126	11,39	18,79	27,33	37,01	47,83	59,78	72,88
45	5.695	12,53	20,50	29,61	38,86	51,24	63,77	77.43
50	6,234	13,67	22,21	31,89	42,70	54,66	67,75	81,98
60	7,402	15,94	25,62	36,44	48,39	61,49	75,74	91,12
70	8,540	18,22	29,01	40.99	54,10	68,34	83,71	100,2
80	9,679	20,50	32.46	45,56	59,79	75,16	91,68	109,3
90	10.82	22,78	35.88	50,11	65,49	82,00	99,65	118,4
100	11,96	25,06	39,29	54,66	71,17	88,83	107,6	127,5
125	14,80	30,75	47,83	66,04	85,40	105.9	127,5	150,3
150	17,65	36,45	56,38	77,44	99,65	123 0	147,3	173,1
175	20.50	42,14	64.91	88,83	113,8	140,0	167,4	195,9
200	23,34	47,82	73,45	100,2	128,1	157,1	187,3	218.7
225	26,19	53,53	82,00	111,6	142,3	174,2	207,3	241,6
250	29,04	59,22	90.53	122,8	156,6	191,3	227,2	264,2
275	31.89	64,92	99,8	134,3	170,8	208,4	247,2	287,0
300	34,73	70,61	107,6	145,7	185,0	225.5	267,0	309,7
325	37,58	76,30	116,1	157,2	199,3	242,5	287,0	332,4
350	40,42	82.00	124,7	168,5	213,5	259,7	307,0	355,3
375	43,28	87,72	133,2	179,9	227,8	276.6	326,8	378,2
400	46,11	93,38	141,8	191,3	241.9	293,8	346.4	400,8

(16) *Poids moyen des tuyaux en fer étiré.*

Diamètre intérieur, en *mm*	Épaisseurs des parois en *mm.*								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0,59	0,95	1,37	1,82	2,34	2,90	3,50	4,16	4,87
15	0,83	1,32	1,85	2,44	3,07	3.75	4,48	5,26	6,09
20	1,07	1,68	2,34	3,05	3.80	4,60	5,45	6,35	7,30
25	1,32	2,05	2,83	3,65	4.53	5,45	6,43	7,45	8,52
30	1,56	2,41	3,31	4,26	5,26	6,30	7,40	8,55	9,74
40	2,05	3,14	4,29	5,48	6,72	8,01	9,35	10,73	12,18
50	2,53	3,87	5,26	6.70	8,18	9,72	11,30	12,93	14,61
60	3,02	4,59	6,23	7,92	9,64	11,42	13,25	15,12	17,05
70	3,50	5,33	7,20	9,13	11,10	13,12	15,20	17,31	19,48
70	4,00	6,06	8,18	10,35	12,57	14,83	17,14	19,50	21,92

(17) **_Poids approximatif des tubes en cuivre._**

Diamètre intérieur	Épaisseur en mm 1	1 ¼	1 ½	1 ¾	2	2 ¼	2 ½	2 ¾	3	3 ½	4	5
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
10	0 303	0 390	0 479	0 571	0 667	0 766	0 868	0 974	1 084	1 313	1 556	2 085
11	0 333	0 425	0 521	0 620	0 722	0 828	0 938	1 051	1 167	1 411	1 668	2 224
12	0 361	0 460	0 563	0 639	0 778	0 891	1 007	1 127	1 251	1 508	1 779	2 363
13	0 389	0 495	0 604	0 717	0 834	0 953	1 077	1 204	1 334	1 605	1 890	2 502
14	0 417	0 529	0 646	0 766	0 889	1 016	1 146	1 280	1 417	1 702	2 001	2 641
15	0 444	0 564	0 688	0 814	0 945	1 079	1 216	1 357	1 501	1 800	2 113	2 780
16	0 472	0 599	0 729	0 863	1 000	1 141	1 285	1 433	1 584	1 897	2 224	2 919
17	0 500	0 634	0 771	0 912	1 056	1 204	1 355	1 509	1 668	1 994	2 335	3 058
8	0 528	0 669	0 813	0 960	1 112	1 266	1 424	1 586	1 751	2 092	2 446	3 197
19	0 556	0 703	0 854	1 009	1 167	1 329	1 494	1 662	1 835	2 189	2 557	3 336
20	0 583	0 738	0 896	1 058	1 223	1 391	1 563	1 739	1 918	2 286	2 669	3 475
25	0 722	0 912	1 105	1 301	1 501	1 704	1 911	2 121	2 335	2 713	3 225	4 170
30	0 861	1 086	1 313	1 544	1 779	2 017	2 259	2 503	2 752	3 199	3 781	4 865
35	1 000	1 259	1 522	1 788	2 057	2 330	2 606	2 836	3 169	3 686	4 337	5 560
40	1 139	1 433	1 730	2 031	2 335	2 643	2 954	3 268	3 586	4 173	4 893	6 255
45	1 278	1 607	1 939	2 274	2 613	2 955	3 301	3 650	4 003	4 659	5 449	6 950
50	1 417	1 781	2 147	2 517	2 891	3 268	3 649	4 033	4 420	5 146	6 005	7 645
55	1 556	1 954	2 356	2 761	3 169	3 581	3 996	4 415	4 837	5 632	6 561	8 340
60	1 695	2 128	2 564	3 004	3 447	3 894	4 344	4 797	5 254	6 119	7 117	9 035
65	1 835	2 302	2 773	3 247	3 735	4 206	4 691	5 179	5 671	6 605	7 673	9 731
70	1 974	2 476	2 981	3 491	4 003	4 519	5 039	5 562	6 088	7 092	8 229	10 426
75	1 113	2 649	[illegible] 190	3 734	4 281	4 832	5 386	5 944	6 505	7 578	8 785	11 121

(18) *Poids spécifique des principaux matériaux.*

(Poids spécifique de l'eau à + 4° = 1).

Corps solides.

Acier de cémentation	7,26 à 7,80
Acier fondu	7,83 à 7,92
Acier puddlé	7,50 à 7,80
Albâtre	2,70
Aluminium fondu	2,56
» forgé	2,67
Antimoine	6,65 à 6.72
Ardoise	2,67
Argent fondu	10,10 à 10,47
» forgé	10,51 à 10,62
Argile grasse et humide (maximum)	2,85
Argile maigre et sèche (minimum)	1,52
Asphalte	1,07 à 1,16
Basalte	2,80
Bismuth	9,83
Bois, séchés à l'air :	
Aulne	0,50
Bouleau	0,74
Buis	0,95
Chêne	0,69
» fraîchement coupé	0,97
Ébène noir	1,19
» vert	1,21
Érable	0,67
Frêne	0,67
Gaïac	1,21
Hêtre	0,73
Liège	0 24
Mélèze	0,52
Noyer	0.66
Peuplier	0,39
Pin	0,47
Pin rouge	0,65
» fraîchement coupé	0,91
Pommier	0.73
Sapin	0,56
» fraîchement coupé	0,89
Tilleul	0,56
Brique	1.40 à 2,20
Bronze	8,30 à 8.60
Caoutchouc pur	0,93
» vulcanisé	1,23 à 1,75
Coke (poids spécifique absolu)	1,40
Coke, compris les vides	0,55
Craie	1,25
Cuivre fondu	8,57
» martelé	8,78 à 9,00
Étain	7,29
Feldspath (en moyenne)	2,50
Fer forgé	7,60 à 7,79
Fonte de fer	7,00 à 7,50
Glace à 0°	0,92
Granit	2,80
Grès	2,35
Houille	1,21 à 1,51
» en petits morceaux (compris les vides)	0,85 à 0,95
» en gros morceaux (compris les vides)	0,95 à 1,05
Laiton	8,55
Lignite	1,20
Maçonneries :	
de briques	1,47 à 1,70
de grès ou meulière	2,05 à 2,12
de moëllons	2,40 à 2,46
Marbre	2,52 à 2,84
Métal des cloches	8,80
Or fondu	19,26
Or natif	18,60 à 19,10
Pierre calcaire ordinaire	2,44
» de taille (en moyenne)	2,50
Platine	21,15 à 21,70
Plâtre gâché sec	0,97
Plomb	11,40
Quartz	2,62
Sable ordinaire sec	1,64
Sel gemme	2,20
Terre argileuse grasse	2,10
» » sèche	1,90
» maigre	1,30
Verres :	
Cristal	2,89
Flint-glass	3,33
Glaces	2,46
Vitres	2,63
Zinc fondu	6,86
» laminé, jusqu'à	7.21
» » moyenne	7,00

CHAPITRE IV

Documents relatifs à la physique.

(19) *Réduction des degrés du thermomètre Fahrenheit.*

F	C	F	C	F	C	F	C
— 4°	— 20°00	34°	1°11	72°	22°22	110°	43°33
— 3	— 19.54	35	1.67	73	22.78	111	43.89
— 2	— 18.89	36	2.22	74	23.33	112	44.44
— 1	— 18.33	37	2.78	75	23.89	113	45.00
0	— 17.78	38	3.33	76	24.44	114	45.56
1	— 17.22	39	3.89	77	25.00	115	46.11
2	— 16.67	40	4.44	78	25.56	116	46.67
3	— 16.11	41	5.00	79	26.11	111	47.22
4	— 15.56	42	5.56	80	26.67	118	47.78
5	— 15.00	43	6.11	81	27.22	119	48.33
6	— 14.44	44	6.67	82	27.78	120	48.89
7	— 13.89	45	7.22	83	28.33	121	49.44
8	— 13.33	46	7.78	84	28.89	122	50.00
9	— 12.78	47	8.33	85	29.44	123	50.56
10	— 12.22	48	8.89	86	30.00	124	51.11
11	— 11.67	49	9.44	87	30.56	125	51.67
12	— 11.11	50	10.00	88	31.11	126	52.22
13	— 10.56	51	10.56	89	31.67	127	52.78
14	— 10.00	52	11.11	90	32.22	128	53.33
15	— 9.44	53	11.67	91	32.78	129	53.89
16	— 8.89	54	12.22	92	33.33	130	54.44
17	— 8.33	55	12.78	93	33.89	131	55.00
18	— 7.78	56	13.33	94	34.44	132	55.56
19	— 7.22	57	13.89	95	35.00	133	56.11
20	— 6.67	58	14.44	96	35.56	134	56.67
21	— 6.11	59	15.00	97	36.11	135	57.22
22	— 5.56	60	15.56	98	36.67	136	57.78
23	— 5.00	61	16.11	99	37.22	137	58.33
24	— 5.44	62	16.67	100	37.78	138	58.89
25	— 3.89	63	17.22	101	38.33	139	59.44
26	— 3.33	64	17.78	102	38.89	140	60.00
27	— 2.78	65	18.33	103	39.44	141	60.56
28	— 2.22	66	18.89	104	40.00	142	61.11
29	— 1.67	67	19.44	105	40.56	143	61.67
30	— 1.11	68	20.00	106	41.11	144	62.22
31	— 0.56	69	20.56	107	41.67	145	62.78
32	0.00	70	21.11	108	42.22	146	63.33
33	0.56	71	21.67	109	42.78	147	63.80

F	C	F	C	F	C	F	C
148°	64°44	165°	73°89	182°	83°33	199°	92.78
149	65.00	166	74.44	183	83.89	200	93.33
150	65.56	167	75.00	184	84.44	201	93.89
151	66.11	168	75.56	185	85 00	202	94.44
152	66.67	169	76.11	186	95.56	203	95.00
153	67 22	170	76.67	187	86.11	204	95.56
154	67.78	171	77.22	188	86.67	205	96.11
155	68.33	172	77.78	189	87.22	206	96.67
156	68.89	173	78.33	190	87.78	207	97.22
157	69.44	174	78.89	191	88.33	208	97.78
158	70 00	175	79.44	192	88.89	209	98.33
159	70.56	176	80.00	193	89.44	210	98.89
160	71.11	177	80.56	194	90.00	211	99.44
161	71.67	178	81 11	195	90.56	212	100.00
162	72 22	179	81.67	196	91.11		
163	72.78	180	82.22	197	91.67		
164	73.33	181	82 78	198	92.22		

1° Fahr. = 0°,55556 centigr. 1° centigr. = 1°,800 Fahr.
5° centigrade. = 9° Fahr.
Le 32e degré Fahr. correspond à 0° centigr. Le 212e à + 100° centigr.
Le degré 0 Fahr. correspond à — 17,78 centigr.

(20) *Réduction des degrés du thermomètre de Réaumur.*

R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
1°	1°25	17°	21°25	33°	41°25	49°	61°25	65°	81°25
2	2.50	18	22.50	34	42 50	50	62.50	66	82 50
3	3.75	19	23.75	35	43.75	51	63.75	67	83.75
4	5.00	20	25.00	36	45.00	52	65.00	68	85.00
5	6.25	21	26.25	37	46 25	53	66 25	69	86.25
6	7.50	22	27.50	38	47.50	54	67.50	70	87.50
7	8.75	23	28.75	39	48.75	55	68.75	71	88.75
8	10.00	24	30.00	40	50.00	56	70.00	72	90.00
9	11.25	25	31.25	41	51.25	57	71.25	73	91.25
10	12.50	26	32.50	42	52 50	58	72.50	74	92.50
11	13.75	27	33.75	43	53.75	59	73.75	75	93.75
12	15.00	28	35.00	44	55.00	60	75.00	76	95.00
13	16.25	29	36.25	45	56.25	61	76.25	77	96.25
14	17.50	30	37.50	46	57 50	62	77.50	78	97.50
15	18.75	31	38.75	47	58.75	63	78.75	79	98.75
16	20.00	32	40.00	48	60.00	64	80.00	80	100.00

1° Réaum. = 1,250 cent. 1° cent. = 0°,8 Réaum. 5° cent. = 4° Réaum.
0° Réaum. correspond à 0° centigr.
80° Réaum. » à 100° centigr.

(21) *Coefficients de dilatation linéaire de quelques solides entre 0° et 100°.*

CORPS	COEFFICIENTS
	0,0000
Acier.	11500
Acier trempé	12250
Aluminium	22239
Argent	19097
Bois de sapin	03520
Briques	05502
Bronze	18492
Charbon de bois de sapin.	10000
Cuivre jaune (laiton)	18782
Cuivre rouge	17182
Etain	21730
Fer	11821
Fer en fil	14401
Fonte	11100
Glace de — 27 à — 1	51813
Granit	08625
Gypse	14010
Marbre blanc	10720
» noir	04260
Or	15136
Platine	08842
Plomb	28484
Spath fluor.	20700
Verre en tubes	08969
» en verges pleines	09220
» en règle.	08613
» glaces (Saint-Gobain)	08909
» flint	08167
Zinc.	29680

(22) *Coefficients de dilatation de quelques liquides.*

Formule : $V = 1 + at + bt^2 + ct^3$.

P : Isidore Pierre. **K : H. Kopp.**

	a 0,00	*b* 0,00000	*c* 0,0000000	
Acétone	+ 13481	+ 26090	+ 105683	K
Acide azotique D : 1,40. .	11	»	»	
— **chlorhydrique D : 1,24**	06	»	»	
— **sulfurique D : 1,85** .	06	»	»	
— **formique**	09927	062514	05965	K
— **acétique**	1057	01832	09644	K
— **propionique** . . .	11003	02182	0698	K
— **butyrique**	10461	+ 05624	0542	K
— **valérique**	10476	— 0240	08247	K
— **acétique anhydre.** .	1053	+ 18389	007917	K
Alcool méthylique . . .	1134	13635	08741	K
— **éthylique.**	10414	+ 07836	1762	K
— **amylique.**	09724	— 08565	2022	K
— **benzylique** . . .	07873	+ 0513	02725	K
Aldéhyde.	15464	69745	»	K
Aniline	08173	09191	00628	K
Benzine	11763	+ 12776	08065	K
Brome	10382	— 11714	0545	P
Bromure (tri) de phosphore	08472	+ 04367	02523	P
— **(bi) d'éthylène (1).**	09527	13165	+ 01067	P
Chloroforme	1107	+ 46647	— 174432	P
Chlorure (per) de carbone .	11838	— 08988	+ 13513	P
— **(bi)** — .	10026	— 03728	15934	P
— **(per) d'étain** . .	11328	+ 09117	07579	P
— **(bi) d'éthylène** .	11189	+ 104686	10341	P
— **(bi) d'éthylidène** .	12907	— 01183	2134	P
— **(tri) de phosphore**	11286	+ 08729	0,000017923	P
Essence de térébenthine .	07	»	»	
Ether.	14803	+ 35032	+ 27	K
Ether amylchlorhydrique .	11715	— 05008	+ 13537	P
— **éthyl-acétique** . .	12738	+ 21914	11797	K
— **éthyl-benzoïque** . .	093094	— 006343	050	K
— **éthyl-bromhydrique** .	13376	+ 15014	169	P
— **éthyl-carbonique.** .	11711	0526	0985	K
— **éthyl-iodhydrique.** .	114225	19638	0621	P
— **éthyl-oxalique.** . .	10688	08417	0473	K
Huile d'olive.	00798	— 07726	08274	
Pétroles (moyenne) . . .	07 à 1	»	»	
Solution saturée de sel marin	05	»	»	
Sulfure de carbone . . .	11398	137065	+ 19122	P

(1) t = la température centigrade — 20°.

(23) *Tension de la vapeur d'eau en millimètres de mercure de 15 à 101° (BROCH) et de 101 à 230° (REGNAULT).*

Températ.	Tension	Températ.	Tension	Températ.	Tension	Températ.	Tension	Atmosphèr.
−15	1,44	36	44,1	79	340	100,0	760	1
10	2,15	37	46,7	80	354	100,1	762,7	
5	3,16	38	49,2	81	369	100,2	765,5	
4	3,40	39	52,0	82	385	100,3	768,2	
3	3,67	40	54,9	83	400	100,4	771,0	
2	3,95	41	57,9	84	416	100,5	773,7	
− 1	4,25	42	61,0	85	433	100,6	776,5	
0	4,57	43	64,3	86	450	100,7	779,3	
+ 1	4,91	44	67,7	87	468	100,8	782,1	
2	5,27	45	71,4	88	487	100,9	784,9	
3	5,66	46	75.1	89	506	101	787,7	
4	6,07	47	79,1	90	525			
5	6,51	48	83,2	90,5	535	102	816	
6	6,97	49	87,5	91	546	103	845	
7	7,47	50	92,0	91,5	556	104	875	
8	8,0	51	96,7	92	567	105	906	1,20
9	8,5	52	101,5	92,5	577	106	938	
10	9,1	53	106,7	93	588	108	1004	
11	9,8	54	112.0	93,5	599	110	1075	1,40
12	10,4	55	117,5	94	611	115	1269	1,66
13	11,1	56	123,3	94,5	622	120	1491	1,96
14	11.9	57	129.3	95	634	125	1744	2,30
15	12,7	58	135,6	95,5	645	130	2030	2,67
16	13.5	59	142,1	96	657	135	2354	3,10
17	14.4	60	148,9	96,5	669	140	2718	3,57
18	15,3	61	156,0	97	682	145	3125	4,1
19	16,3	62	163,3	97,5	694	150	3581	4,7
20	17,4	63	170,9	98	707	155	4088	5,3
21	18,5	64	178.9	98,5	720.0	160	4652	6.1
22	19,6	65	187,1	98,6	722,6	165	5274	6,9
23	20.8	66	195,7	98,7	725,3	170	5962	7,8
24	22.1	67	205	98,8	727,9	175	6717	8,8
25	23,5	68	214	98,9	730,5	180	7546	9,9
26	25,0	69	223	99.0	733,2	185	8644	11,1
27	26,5	70	233	99,1	735,8	190	9443	12,4
28	28,1	71	244	99,2	738,5	195	10520	13,9
29	29,7	72	254	99,3	741,1	200	11689	15,4
30	31,5	73	265	99,4	743,8	205	12956	17,5
31	33,4	74	277	99,5	746,5	210	14325	18,8
32	35,3	75	289	99,6	749,2	215	15801	20,8
33	37,4	76	301	99,7	751,9	220	17390	22,9
34	39,5	77	314	99,8	754,6	225	19097	25,3
35	41,8	78	327	99,9	757,3	230	20926	27,5

Atmosph..	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20	25
Temperat..	120,6	133,9	144,0	152,2	159,2	165,3	170,8	180,3	199	213	225

(24) *Tension de vapeur de différents liquides en centimètres de mercure* (REGNAULT)

Températures	Alcool	Alcool méthylique	Ether	Sulfure de carbone	Essence de térébenthine	Chloroforme	Benzine	Tétrachlorure de carbone	Chlorure d'éthyle	Bromure d'éthyle	Iodure d'éthyle	Acétone	Bromure d'éthylène	Trichlorure de phosphore	Chlorure de cyanogène
— 30	....	0,3	....	....	....	....	....	....	11	3,2	....	....	....	....	6,8
— 20	0,34	0,6	6,9	4,7	....	....	0,58	0,98	18,8	5,9	....	....	0,17	....	14,8
— 10	0,64	1,35	11,5	7,9	....	....	1,3	1,85	30,2	10,1	....	....	0,25	....	27,0
0	1,27	2,7	18,4	12,8	0,2	....	2,5	3,3	46,5	16,5	4,2	....	0,4	3,8	44,4
10	2,42	5	28,7	19,9	0,3	....	4,5	5,6	69,1	25,7	6,9	....	0,65	6,3	68,2
20	4,45	8,9	42,3	29,8	0,45	16	7,6	9,1	99,6	38,7	11	18	1,1	10	100,2
30	7,85	15	63,5	43,5	0,69	24,7	12	14,2	139,9	56,5	16,9	28	1,7	15,5	142,7
40	13,4	24,4	90,7	61,7	1,1	37	18,4	21,5	162	80,2	25,2	42	2,7	23,4	198,8
50	22	38,2	126,5	85,7	1,7	53,5	27,1	31,5	257,9	111,3	36,4	60,3	4,3	34,1	272
60	35	58	172,5	116,4	2,7	75,5	39	44,8	340	151,2	51,2	86	6,6	48,6	366,4
70	54,1	85,7	230,5	155	4,1	104,2	54,7	62,1	440,5	201,5	....	118,9	9,8	67,4	487,4
80	81,3	124	302,3	203	6,1	140,7	75,2	84,3	561,4	263,9	....	161,7	14,4	....	....
90	118,9	174	390	262	9,1	186,5	101,3	112,2	704,7	339,9	....	214,2	20,7	....	....
100	169,7	240	495	332	13,1	243	134	146,7	872,3	431,2	....	279,7	29	....	....
110	236,8	326	621	416	18,6	311	171,5	188,7	....	539,4	....	359,4	40	....	....
120	323,2	434	772	515	25,7	393	223,5	239,4	....	665,8	....	454,7	54,5	....	....
130	423,3	570	....	630	34,9	488	282,5	299,7	....	811,6	....	567	72,6	....	....
140	567,5	734	....	760	46,4	600	352	371	....	978	....	697,5	95	....	....
150	731,8	937	....	910	60,5	728	433	454,3	....	....	....	....	123	....	....
160	....	....	....	....	77,5	873	527	551,3	....	....	....	....	157	....	....
170	....	....	....	....	97,5	....	634	663,4	....	....	....	....	198	....	....
180	....	....	....	....	121	....	....	792,4	....	....	....	....	246	....	....
190	....	....	....	....	147	....	....	939,9	....	....	....	....	302	....	....
200	....	....	....	....	177	....	....	....	....	....	....	....	367	....	....
210	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	441	....	....
Point d'ébullition à 76 centimètres	78°,26	66,78	34,97	46,20	159,2	60,16	80,36	76,5	12,5	38,37	72,2	56,3	131,6	73,8	12,66

(25) *Transformation des colonnes d'eau en colonnes de mercure, pour la lecture des volumes gazeux* (BUNSEN).

Millimèt. d'eau	Millimètre de mercure	Millimèt. d'eau	Millimètre de mercure	Millimèt. d'eau	Millimètre de mercure
1	0,074	10	0,74	55	4,06
2	0,15	15	1,12	60	4,43
3	0,22	20	1,48	65	4,80
4	0,30	25	1,84	70	5,17
5	0,37	30	2,21	75	5,54
6	0,44	35	2,58	80	5,90
7	0,52	40	2,95	85	6,27
8	0,59	45	3,32	90	6,64
9	0,66	50	3,69		

(26) *Réduction des pesées au vide.*

Soient : m le poids apparent du corps dans l'air ;
a le poids du centimètre cube d'air (en moyenne $a = 0{,}0012$) ;
s la densité du corps pesé ;
d la densité des poids (pour les poids en laiton $d = 8{,}4$).

En négligeant de très petites corrections le poids réel du corps dans le vide est :

$$p = m + ma\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{d}\right).$$

Inversement, ayant le poids p dans le vide d'un corps (les tables de densité donnant les densités dans le vide), pour avoir son poids apparent m, on a :

$$m = p - \frac{pds}{a(d - s)}$$

(27) *Densité des solides par la méthode du flacon.*

1° On fait la tare totale du flacon plein d'eau et du corps dont on cherche la densité. (Prendre de l'eau distillée et récemment bouillie.) On note la température t ;

2° On enlève le corps et on le remplace par les poids marqués p ;

3° On plonge le corps dans le flacon, on chasse les bulles d'air par le vide ou par ébullition, on essuie bien, on affleure exactement au trait, on remet sur la balance après avoir ramené, s'il y a lieu, la température à t^o. Pour rétablir l'équilibre, il faut remplacer les poids p par les poids p'. Soit d la densité de l'eau à t^o température de l'expérience, la densité cherchée est :

$$D = \frac{p}{p'} d - \frac{p - p'}{p'} a$$

a étant le poids du centimètre cube d'air (1).

On peut ramener p au vide, ramener p' à 0° ou à 15°, se qui donne le volume réel v du corps à 0° ou à 15° (le coefficient de dilatation étant négligeable) et alors la formule se réduit à :

$$D = \frac{p}{v}$$

Pour ramener p' à 0° ou 15°, voir table (**30**).

Par la balance hydrostatique, les formules sont les mêmes en laissant : p poids du corps dans l'air et p' perte de poids dans l'eau.

(**28**) *Densité des liquides.*

1° Méthode du flacon. — On prend le poids p du flacon vide et bien sec. A l'aide de la table (**30**), on a déterminé le volume du flacon à la température t^o à laquelle on veut prendre la densité. On remplit le flacon du liquide en expérience, à la température t^o, soit p' le poids observé : $p' - p$ est le poids apparent du liquide. En divisant $p' - p$ par le volume du flacon, on a une densité approchée qui permet de ramener la valeur $p' - p$ au vide (table **26**), ce poids corrigé, divisé par le volume, donne la densité vraie.

2° Méthode du flotteur. — On établit une fois pour toutes le poids p du flotteur dans le vide, table (**26**). On calcule le volume v réel du flotteur comme on cal-

(1) Si le corps était soluble, ou attaquable par l'eau, on prendrait un autre liquide approprié dont on déterminerait la densité d à t^o. La formule reste la même.

Pour les grains par exemple on peut prendre la benzine de pétrole.

cule la capacité d'un flacon, table (**30**), la perte de poids dans l'eau à t^o remplaçant le poids apparent de l'eau contenue dans le flacon.

Si alors p' est le poids de ce flotteur dans un liquide quelconque $\frac{p-p'}{v}$ sera la densité de ce liquide à t^o.

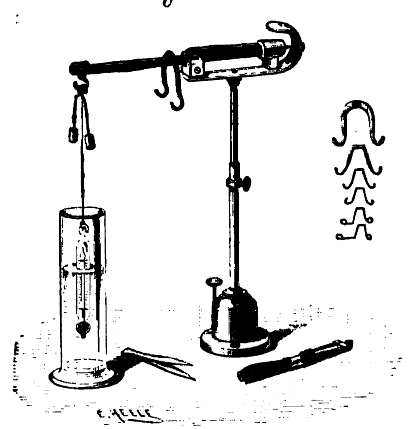


Fig. 1. — Balance hydrostatique de Mohr.

En pratique, on peut opérer très rapidement et avec assez d'exactitude à l'aide de la balance hydrostatique de Mohr ou de Dalican que l'on trouve dans le commerce. La figure 1 ci-dessus et les instructions qui accompagnent chaque appareil nous dispensent d'autres explications.

(**29**) *Table des densités de l'eau aux températures ordinaires* (ROSETTI).

Température	Densité	Température	Densité	Température	Densité
0	0,999871	11	0,999655	22	0,997826
1	0,999928	12	0,999549	23	0,997601
2	0,999969	13	0,999430	24	0,997367
3	0,999991	14	0,999299	25	0,997120
4	1,000000	15	0,999160	26	0,996866
5	0,999990	16	0,999002	27	0,996603
6	0,999970	17	0,998841	28	0,998331
7	0,999933	18	0,998654	29	0,995051
8	0,999886	19	0,998460	30	0,995765
9	0,999824	20	0,998249	»	»
10	0,999747	21	0,998047	100	0,958650

(30) *Capacité des vases de verre par jaugeage à l'eau (Landolt et Bornstein).*

Soit P le poids d'eau contenue dans un vase de verre à t^o, pesé à 760 millimètres avec des poids en laiton, On aura le volume V en centimètres cubes, à la température t^o, par la formule : $V = PR$; et on ramènera ce volume à 0°, à 15° ou 20° par la formule $V' = PR'$.

t^o	R	R' à 0°	R' à 15°	R' à 20°
0	1,00126	1,00126	1,00163	1,00176
13	1,00165	1,00133	1,00170	1,00183
14	1,00178	1,00143	1,00181	1,00193
15	1,00192	1,00155	1,00192	1,00205
16	1,00207	1,00167	1,00204	1,00217
17	1,00223	1,00180	1,00218	1,00230
18	1,00240	1,00195	1,00233	1,00245
19	1,00258	1,00211	1,00248	1,00261
20	1,00278	1,00228	1,00266	1,00278
21	1,00299	1,00246	1,00284	1,00296
22	1,00320	1,00265	1,00303	1,00315
23	1,00343	1,00285	1,00322	1,00335
24	1,00366	1,00306	1,00343	1,00356
25	1,00390	1,00327	1,00365	1,00378
26	1,00417	1,00352	1,00390	1,00402

(31) *Vérification des instruments gradués et jaugés.*

La plus grande partie des erreurs ou écarts d'analyses provient des vases mal jaugés. On devra donc avant tout vérifier ces instruments et retourner impitoyablement tout vase défectueux. Cette vérification est facile avec les tables précédentes, on devra tenir compte des points suivants :

Un vase n'est exact que pour la température à laquelle il a été gradué.

La température de 15° C. est adoptée officiellement en France, et c'est à cette température que doivent être jaugés les vases du commerce.

N'employer les instruments allemands que dans des cas déterminés, en tenant compte qu'ils sont jaugés à 17°5.

Les ballons et carafes sont jaugés à sec, on ne doit donc pas s'en servir pour transvaser.

Les burettes et pipettes sont graduées mouillées.

Les éprouvettes à pied sont graduées sèches ou mouillées, dans ce dernier cas pour les transvasements, on devra les marquer d'une façon apparente.

Prenons comme exemple le jaugeage d'une carafe de 1 litre. Le volume doit être 1.000 c. c. à 15°, en reportant cette valeur dans la formule V' = PR' de la table précédente, on tire :

$$P = \frac{1000}{1,00192} = 998 \text{ gr.},083$$

pour poids de l'eau à 15° que doit contenir cette carafe, ce que l'on vérifie sur la balance. On fait la tare exacte du ballon bien sec + 998gr,083 en poids de laiton. On enlève les poids et l'on rétablit l'équilibre en versant de l'eau distillée. On s'assure si l'air est bien chassé, le ménisque du liquide doit affleurer le trait de jauge, sinon le vase est à rejeter.

Pour les vases jaugés mouillés, on tare un vase de verre de Bohême + le poids P correspondant, déterminé comme précédemment ; on enlève le poids P et on verse le liquide du vase jaugé exactement rempli, l'équilibre doit être rétabli.

En pratique, on n'emploie ce procédé que pour le jaugeage ou la vérification de pipettes-étalons qui serviront ensuite à la vérification des vases jaugés à sec, et pour la graduation d'une éprouvette-étalon qui servira à la vérification des vases jaugés mouillés.

Dans l'emploi des pipettes à un trait, la règle à suivre est : remplir la pipette de façon que le ménisque soit tangent au trait de jauge, toucher la pointe à la paroi mouillée du vase pour détacher la goutte ; on laisse l'écoulement se faire librement dans le vase qui doit le recevoir, et quand il est terminé, on détache la goutte en touchant la paroi. Ne jamais souffler dans ces pipettes.

Les pipettes à deux traits sont toujours plus exactes.

On peut calculer la capacité d'un vase de verre jaugé à 15° pour une température quelconque à l'aide de la table (**32**).

(**32**) *Multiples du coefficient de dilatation cubique du verre* (REGNAULT).

de 0 à 100°		de 0 à 150°		de 0 à 200°		de 0 à 250°		de 0 à 300°	
1	0,0000276	1	0,0000284	1	0,0000291	1	0,0000298	1	0,0000306
2	0,0000552	2	0,0000568	2	0,0000582	2	0,0000596	2	0,0000612
3	0,0000828	3	0,0000852	3	0,0000873	3	0,0000894	3	0,0000918
4	0,0001104	4	0,0001136	4	0,0001164	4	0,0001192	4	0,0001224
5	0,0001380	5	0,0001420	5	0,0001455	5	0,0001490	5	0,0001530
6	0,0001656	6	0,0001704	6	0,0001746	6	0,0001788	6	0,0001836
7	0,0001932	7	0,0001988	7	0,0002037	7	0,0002086	7	0,0002142
8	0,0002208	8	0,0002272	8	0,0002328	8	0,0002384	8	0,0002448
9	0,0002484	9	0,0002556	9	0,0002619	9	0,0002682	9	0,0002754

Aréométrie.

(**33**) *Comparaison des échelles de Beck et de Baumé pour les liquides plus lourds que l'eau avec les densités.*

Degrés Baumé ou Beck	Densités correspondantes		Degrés Baumé ou Beck	Densités correspondantes	
	Baumé	Beck		Baumé	Beck
0	1,0000	1,0000	26	1,2198	1,1806
1	1,0069	1,0059	27	1,2301	1,1888
2	1,0140	1,0119	28	1,2407	1,1972
3	1,0212	1,0180	29	1,2515	1,2057
4	1,0285	1,0241	30	1,2624	1,2143
5	1,0358	1,0303	31	1,2736	1,2230
6	1,0434	1,0366	32	1,2849	1,2319
7	1,0509	1,0429	33	1,2965	1,2409
8	1,0587	1,0494	34	1,3082	1,2500
9	1,0665	1,0559	35	1,3202	1,2593
10	1,0744	1,0625	36	1,3324	1,2680
11	1,0825	1,0692	37	1,3447	1,2782
12	1,0907	1,0759	38	1,3574	1,2879
13	1,0990	1,0828	39	1,3703	1,2977
14	1,1074	1,0897	40	1,3834	1,3077
15	1,1160	1,0968	41	1,3968	1,3178
16	1,1247	1,1039	42	1,4105	1,3281
17	1,1335	1,1111	43	1,4244	1,3386
18	1,1425	1,1184	44	1,4386	1,3492
19	1,1516	1,1258	45	1,4531	1,3600
20	1,1608	1,1333	46	1,4678	1,3710
21	1,1702	1,1409	47	1,4828	1,3821
22	1,1798	1,1486	48	1,4984	1,3934
23	1,1896	1,1565	49	1,5141	1,4050
24	1,1994	1,1644	50	1,5301	1,4167
25	1,2095	1,1724	51	1,5466	1,4286

Comparaison des échelles de Beck et de Baumé (Suite).

Degrés Baumé ou Beck	Densités correspondantes		Degrés Baumé ou Beck	Densités correspondantes	
	Baumé	Beck		Baumé	Beck
52	1,5633	1,4407	63	1,7748	1,5888
53	1,5804	1,4530	64	1,7969	1,6038
54	1,5978	1,4655	65	1,8195	1,6190
55	1,6158	1,4783	66	1,8428	1,6346
56	1,6342	1,4912	67	1,839	1,6505
57	1,6529	1,5044	68	1,864	1,6667
58	1,6720	1,5179	69	1,885	1,6832
59	1,6916	1,5315	70	1,909	1,7000
60	1,7116	1,5454	71	1,935	
61	1,7322	1,5596	72	1,960	-
62	1,7532	1,5741			

(34) *Table des densités correspondant aux degrés Baumé corrigés*
(BERTHELOT, COULIER et D'ALMEIDA).

0	0,999 5	19	1,146	38	1,343	57	1,621
1	1,006	20	1,155	39	1,355	58	1,639
2	1,013	21	1,164	40	1,367	59	1,657 5
3	1,020	22	1,173	41	1,380	60	1,676
4	1,027	23	1,182 5	42	1,393	61	1,695
5	1,034	24	1,192	43	1,406	62	1,715
6	1,041	25	1,201 5	44	1,419 5	63	1,735
7	1,048 5	26	1,211	45	1,433 5	64	1,755 5
8	1,056	27	1,221	46	1,447 5	65	1,776 5
9	1,064	28	1,231	47	1,461 5	66	1,798
10	1,071 5	29	1,241 5	48	1,476	67	1,820
11	1,079	30	1,252	49	1,491	68	1,842 5
12	1,087	31	1,263	50	1,506	69	1,866
13	1,095	32	1,273 5	51	1,521 5	70	1,890
14	1,103	33	1,284	52	1,537	71	1,915
15	1,111 6	34	1,296	53	1,553 5	72	1,939
16	1,120	35	1,307	54	1,570	73	1,965
17	1,128 5	36	1,319	55	1,587	74	1,991
18	1,137	37	1,331	56	1,604	75	2,018

Le poids apparent d'un litre de liquide à 15° pesé avec des poids de laiton est sensiblement :

La densité × 10000 — 1.

Exemple : Un liquide à 20°B. a une densité 1,155, les poids de laiton qui feront équilibre à un litre de ce liquide dans l'air seront : 1,154 grammes.

(35) *Table de concordance entre la densité à + 15° et les degrés saccharométriques Vivien et Brix-Dupont à 15°.*

Densité absolue à + 15°	Degrés Vivien ou sucre p. % cc.	Degrés Brix-Dupont ou sucre % gr.	Densité absolue	Degrés Vivien ou sucre % cc.	Degrés Brix-Dupont ou sucre % gr.	Densité absolue	Degré Vivien ou sucre % cc.	Degrés Brix-Dupont ou sucre % gr.
99.8	0,000	0,000	103,4	9,110	8.809	107 »	18,544	17,330
99.9	0,000	0,000	103,5	9;371	9,054	107,1	18,810	17,562
100 »	0,219	0,219	103,6	9,633	9,298	107.2	19,076	17,794
100,1	0,480	0,479	103,7	9,894	9,541	107,3	19,342	18,025
100.2	0,742	0,738	103,8	10,155	9,783	107,4	19,608	18,257
100,3	1,003	0.997	103,9	10,416	10,026	107,5	19,874	18,487
100.4	1.265	1.255				107,6	20,140	18,716
100,5	1,526	1,518	104 »	10,678	10,267	107,7	20,406	18,945
100,6	1,788	1.776	104,1	10,939	10,508	107,8	20,672	19,174
100,7	2,049	2.034	104,2	11,200	10,748	107,9	20,938	19,403
100,8	2,311	2.291	104,3	11,461	10,988			
100,9	2,572	2,548	104,4	11,722	11,227	108 »	21,204	19,663
			104.5	11,984	11,467	108,1	21.467	19,858
101 »	2.834	2,805	104,6	12,245	11,706	108,2	21,730	20,083
101,1	3,097	3,064	104,7	12,506	11,944	108,3	21,993	20,307
101.2	3,360	3.320	104.8	12,767	12,182	108.4	22,256	20,530
101.3	3,623	3.576	104,9	13,028	12,420	108.5	22,519	20,754
101.4	3,885	3,832				108.6	22,782	20.977
101.5	4,147	4,085	105 »	13.290	12.658	108,7	23.045	21,199
101.6	4,410	4,338	105.1	13.552	12.895	108,8	23,308	21,421
101.7	4 675	4,590	105.2	13.814	13.131	108,9	23,571	21 642
101.8	4.932	4,842	105,3	14,076	13.367			
101,9	5,194	5,093	105.4	14,338	13.602	109 »	23,833	21,865
			105.5	14,600	13,838	109.1	24.094	22,084
102 »	5,453	5,346	105.6	14,862	14,073	109,2	24,356	22,303
102,1	5,714	5,596	105.7	15.124	14,308	109,3	24,617	22,521
102,2	5,975	5,846	105,8	15,386	14,542	109,4	24,879	22,541
102,3	6,236	6,095	105,9	15,649	14,777	109.5	25,141	22,959
102.4	6,497	6,343				109,6	25,402	23,177
102.5	6,758	6.592	106 »	15,912	15,011	109,7	25,664	23,395
102,6	7,020	6,841	106,1	16,175	15,245	109,8	25,925	23,612
102,7	7,281	7,089	106,2	16,438	15,477	109,9	26,187	23,829
102,8	7,542	7,336	106,3	16,701	15,710			
102,9	7,804	7,583	106,4	16,964	15,943	110 »	26,450	24,045
			106,5	17,227	16,175			
103 »	8,066	7,831	106,6	17,490	16,407			
103,1	8.327	8.076	106.7	17,753	16,638			
103,2	8,588	8,321	106,8	18,016	16,869			
103.3	8,849	8,565	106,9	18,280	17,090			

(36) *Comparaison des taux de sucre % ou degrés Brix, en degrés Baumé et en densité à 17°5 pour comparaison avec les instruments allemands*

Brix	Baumé	Densités	Brix	Baumé	Densités
0	0	1,0000	57	30,82	1,2724
2	1,11	1,0078	58	31,34	1,2782
4	2,23	1,0157	59	31,85	1,2840
6	3,34	1,0237	60	32,36	1,2899
8	4,45	1,0319	61	32,89	1,2958
10	5,56	1,0401	62	33,38	1,3018
12	6,66	1,0485	63	33,89	1,3078
14	7,77	1,0570	64	34,40	1,3138
16	8,87	1,0657	65	34,90	1,3199
18	9,97	1,0744	66	35,40	1,3260
20	11,07	1,0833	67	35,90	1.3322
22	12,17	1,0923	68	36,41	1,3384
24	13,26	1,1015	69	36,91	1.3446
26	14,35	1,1107	70	37,40	1,3509
28	15,44	1,1201	71	37,90	1,3572
30	16,53	1,1297	72	38,39	1,3636
32	17,61	1,1393	73	38,89	1,3700
34	18,69	1,1491	74	39,38	1,3764
35	19,23	1,1541	75	39,87	1,3829
36	19,71	1,1591	76	40,36	1.3894
37	20,30	1,1641	77	40,84	1,3959
38	20,84	1,1692	78	41,33	1,4025
39	21,37	1,1743	79	41,81	1,4092
40	21,91	1,1794	80	42,29	1,4159
41	22,44	1.1846	81	42,78	1,4226
42	22,97	1,1898	82	43,25	1,4293
43	23,50	1,1950	83	43,73	1,4361
44	24,03	1,2003	84	44,21	1,4430
45	24,56	1,2056	85	44,68	1,4499
46	25,09	1,2110	86	45,15	1,4568
47	25,62	1,2164	87	45,62	1,4638
48	26,14	1,2218	88	46,09	1,4708
49	26,67	1,2278	89	46,56	1,4778
50	27,19	1,2328	90	47,02	1,4849
51	27,71	1,2383	92	47,95	1,4992
52	28,24	1,2439	94	48,86	1,5136
53	28,75	1,2495	96	49,77	1,5281
54	29,27	1,2552	98	50,67	1,5429
55	29,79	1,2609	100	51,56	1,5578
56	30,31	1,2666			

(37) *Indications de l'Aréomètre pèse mélasse ramenées à la température de 15 degrés.*

(COLLARDEAU-VACHER)

Températures	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°
0 . . .	36°1	37°1	38°1	39,1	40,1	41,1	42°1
1 . . .	36,1	37,1	38,1	39,2	40,2	41,2	42,2
2 . . .	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2
3 . . .	36,2	37,2	38,2	39,2	40,3	41,3	42,3
4 . . .	36,3	37,3	38,3	39,3	40,3	41,3	42,3
5 . . .	36,3	37,3	38,3	39,3	40,4	41,4	42,4
6 . . .	36,4	37,4	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4
7 . . .	36,4	37,5	38,4	39,5	40,5	41,5	42,5
8 . . .	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5	42,5
9 . . .	36,5	37,6	38,6	39,6	40,6	41,6	42,6
10 . . .	36,6	37,6	38,7	39,7	40,6	41,6	42,6
11 . . .	36,7	37,7	38,7	39,7	40,7	41,7	42,7
12 . . .	36,8	37,8	38,8	39,8	40,8	41,7	42,7
13 . . .	36,9	37,9	38,9	39,9	40,9	41,8	42,8
14 . . .	36,9	37,9	38,9	39,9	40,9	41,9	42,9
15 . . .	**37 »**	**38 »**	**39 »**	**40 »**	**41 »**	**42 »**	**43 »**
16 . . .	37,0	38,1	39,0	40,0	41,0	42,0	43,0
17 . . .	37,1	38,1	39,1	40,1	41,1	42,1	43,1
18 . . .	37,1	38,2	39,2	40,1	41,1	42,1	43,1
19 . . .	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2	43,2
20 . . .	37,2	38,3	39,3	40,2	41,3	42,3	43,2
21 . . .	37,3	38,4	39,4	40,3	41,3	42,3	43,3
22 . . .	37,3	38,4	39,4	40,4	41,4	42,4	43,4
23 . . .	37,4	38,5	39,5	40,4	41,4	42,5	43,5
24 . . .	37,4	38,5	39,5	40,5	41,5	42,5	43,5
25 . . .	37,5	38,6	39,6	40,5	41,5	42,6	43,6
26 . . .	37,5	38,6	39,6	40,6	41,6	42,6	43,6
27 . . .	37,6	38,7	39,7	40,7	41,7	42,7	43,7
28 . . .	37,6	38,7	39,7	40,7	41,7	42,7	43,7
29 . . .	37,7	38,8	39,8	40,8	41,8	42,8	43,8
30 . . .	37,7	»	39,8	40,8	41,8	42,8	43,9

38) *Comparaison des aréomètres moins lourds que l'eau et densités à + 15° des mélanges d'eau et d'alcool contenant pour 100 volumes n volumes d'alcool absolu (n = degrés Gay-Lussac).*

Degrés			Poids spécifique	Degrés			Poids spécifique	Degrés			Poids spécifique
Baumé	Cartier	Gay-Lussac		Baumé	Cartier	Gay-Lussac		Baumé	Cartier	Gay-Lussac	
10	10	0	1,000	16		34	0,962		25	68	0,896
		1	0,999			35	0,960	27		69	0,893
		2	0,997			36	0,959		26	70	0,891
		3	0,996		16	37	0,957	28		71	0,888
		4	0,994			38	0,956		27	72	0,886
11	11	5	0,993	17		39	0,954	29		73	0,884
		6	0,992			40	0,953		28	74	0,881
		7	0,990		17	41	0,951	30		75	0,879
		8	0,989			42	0,949			76	0,876
		9	0,988	18		43	0,948	31	29	77	0,874
12		10	0,987			44	0,946			78	0,871
	12	11	0,986			45	0,945	32	30	79	0,868
		12	0,984		18	46	0,943			80	0,865
		13	0,983	19		47	0,941	33	31	81	0,863
		14	0,982			48	0,940			82	0,860
		15	0,981			49	0,938	34	32	83	0,857
		16	0,980	20	19	50	0,936	35		84	0,854
13		17	0,979			51	0,934		33	85	0,851
	13	18	0,978			52	0,932	36	34	86	0,848
		19	0,977	21	20	53	0,930			87	0,845
		20	0,976			54	0,928	37	35	88	0,842
		21	0,975			55	0,926	38	36	89	0,838
		22	0,974	22	21	56	0,924			90	0,835
14		23	0,973			57	0,922	39	37	91	0,832
		24	0,972			58	0,920			92	0,829
	14	25	0,971	23	22	59	0,918	40	38	93	0,826
		26	0,970			60	0,915	41		94	0,822
		27	0,969			61	0,913	42	39	95	0,818
		28	0,968	24	23	62	0,911	43	40	96	0,814
15		29	0,967			63	0,909	44	41	97	0,810
		30	0,966	25		64	0,906	45	42	98	0,805
		31	0,965		24	65	0,904	46	43	99	0,800
	15	32	0,964			66	0,902	47	44	100	0,795
		33	0,963	26		67	0,899	48			0,791

Nota. — Si la température est de 15° + n, il faut retrancher (0,4) n degrés alcoométriques pour avoir la richesse alcoolique. Il faut les ajouter au contraire si $t = 15° - n$.

(39) *Densités des mélanges d'eau et d'alcool.*

Degrés	Densités: Alcoomètre légal	Densités: Alcoomètre Gay-Lussac	Degrés	Densités: Alcoomètre légal	Densités: Alcoomètre Gay-Lussac	Degrés	Densités: Alcoomètre légal	Densités: Alcoomètre Gay-Lussac
0	1,00000	1,0000	34	0,96055	0,9608	68	0,89516	0,8956
1	0,99844	0,9985	35	0,95923	0,9594	69	0,89274	0,8932
2	0,99695	0,9970	36	0,95786	0,9581	70	0,89029	0,8907
3	0,99552	0,9956	37	0,95645	0,9567	71	0,88781	0,8882
4	0,99413	0,9942	38	0,95499	0,9553	72	0,88531	0,8857
5	0,99277	0,9929	39	0,95350	0,9538	73	0,88278	0,8831
6	0,99145	0,9916	40	0,95196	0,9523	74	0,88022	0,8805
7	0,99016	0,9903	41	0,95036	0,9507	75	0,87763	0,8779
8	0,98891	0,9891	42	0,94872	0,9491	76	0,87500	0,8753
9	0,98770	0,9878	43	0,94705	0,9474	77	0,87234	0,8726
10	0,98652	0,9867	44	0,94535	0,9457	78	0,86965	0,8699
11	0,98537	0,9855	45	0,94361	0,9440	79	0,86692	0,8672
12	0,98424	0,9844	46	0,94183	0,9422	80	0,86416	0,8645
13	0,98314	0,9833	47	0,94002	0,9404	81	0,86137	0,8617
14	0,98206	0,9822	48	0,93817	0,9386	82	0,85854	0,8589
15	0,98100	0,9812	49	0,93629	0,9367	83	0,85567	0,8560
16	0,97995	0,9802	50	0,93437	0,9348	84	0,85275	0,8531
17	0,97892	0,9792	51	0,93241	0,9329	85	0,84979	0,8502
18	0,97790	0,9782	52	0,93041	0,9309	86	0,84678	0,8472
19	0,97688	0,9773	53	0,92837	0,9289	87	0,84372	0,8442
20	0,97587	0,9763	54	0,92630	0,9269	88	0,84060	0,8411
21	0,97487	0,9753	55	0,92420	0,9248	89	0,83741	0,8379
22	0,97387	0,9742	56	0,92209	0,9227	90	0,83415	0,8346
23	0,97286	0,9732	57	0,91997	0,9206	91	0,83081	0,8312
24	0,97185	0,9721	58	0,91784	0,9185	92	0,82738	0,8278
25	0,97084	0,9711	59	0,91569	0,9163	93	0,82385	0,8242
26	0,96981	0,9700	60	0,91351	0,9141	94	0,82020	0,8206
27	0,96876	0,9690	61	0,91130	0,9119	95	0,81641	0,8168
28	0,96769	0,9679	62	0,90907	0,9096	96	0,81245	0,8128
29	0,96659	0,9668	63	0,90682	0,9073	97	0,80829	0,8086
30	0,96545	0,9657	64	0,90454	0,9050	98	0,80390	0,8042
31	0,96428	0,9645	65	0,90224	0,9027	99	0,79926	0,7996
32	0,96307	0,9633	66	0,89991	0,9004	100	0,79433	0,7947
33	0,96183	0,9621	67	0,89755	0,8980			

Pour avoir la quantité d'alcool % en poids x d'après la quantité en volume v donnée par l'alcoomètre on prend la densité d du mélange dans la table ci-dessus, et l'on a :

$$x = v\,\frac{0.77433}{d}.$$

(40) *Conversion des densités des alcools en degrés* Over *ou* Under proof (Dr URE).

Over proof	Densité	Over proof	Densité	Under proof	Densité
67,0	0,8156	28,0	0,8825	8,0	0,9295
65,0	0,8199	27,0	0,8840	9,0	0,9306
64,6	0,8221	26,0	0,8854	10,0	0,9318
63,1	0,8238	25,0	0,8869	11,0	0,9329
62,0	0,8259	24,0	0,8883	12,1	0,9341
61.1	0,8277	23,0	0,8897	13,1	0,9353
60,0	0,8298	21,9	0,8912	14,2	0,9364
59,1	0,8315	20,9	0,8926	15,3	0,9376
58,0	0,8336	19,9	0,8940	16,0	0,9384
57,1	0,8354	19,1	0,8951	17,1	0,9396
56,0	0,8376	18,0	0,8966	18,2	0,9407
55,0	0,8366	16,9	0,8981	19,3	0,9419
54,1	0,8413	15,9	0,8996	20,0	0,9426
53,1	0,8431	15,0	0,9008	21,2	0,9437
52,1	0,8448	13,9	0,9023	22,2	0,9448
51,1	0,8465	13,1	0,9034	23,1	0,9456
50,1	0,8482	12	0,9049	23,9	0,9464
49,1	0,8499	11,1	0,9060	25,1	0,9476
48,0	0,8516	10	0,9075	26,3	0,9488
47.0	0,8533	8,9	0,9089	27,1	0,9496
46.0	0,8550	8,0	0,9100	28.0	0,9503
45,0	0,8566	7,1	0,9111	29,2	0,9515
43,9	0,8583	5,9	0,9126	30,1	0,9522
43,1	0,8597	5,0	0.9137	35.1	0.9565
42,0	0,8615	3,9	0,9152	40.1	0,9603
41,1	0,8629	3,0	0,9163	45.0	0,9638
40	0,8646	1,9	0,9178	50.3	0,9674
39,1	0,8660	1,0	0,9189	54.8	0.9701
38,0	0,8678	**Proof spirit**	0,9200	60,4	0,9734
37,1	0,8692			65,3	0,9762
35,9	0,8709	**Under proof**		70,1	0.9790
35,0	0,8723	1,3 %	0,9214	75,4	0,9822
34,1	0,8737	2,2	0,9226	80,4	0,9854
32,9	0,8755	3,1	0,9237	85,2	0,9886
32,0	0,8760	4,0	0,9248	90,2	0,9922
31,0	0,8783	5,0	0,9259	95,4	0.9962
30,0	0,8797	6,0	0,9270	100	1.000
29,0	0,8811	7,0	0,9282		

L'alcool de preuve ou *Proof spirit* est ainsi défini par acte du Parlement : « à 51° F, son poids est les 12/13 de celui de l'eau à volume égal ».

Les degrés *over* ou *under proof* sont indiqués par l'*hydromètre de Sykes* avec une table de correspondance qui accompagne l'instrument.

Le *Standard alcohol* (0° de l'alcoomètre Sykes) n'est pas l'alcool absolu, mais l'alcool à 92°7 G. L.

(41) *Alcoomètre de Tralles.*

Cet instrument donne à + 15°,56 cent. la richesse alcoolique en volume des liquides spiritueux. Il diffère à peine de celui de Gay-Lussac. Soit T le degré Tralles et D la densité à 15°,56 on a :

T = 0	D = 0,9991	T = 50	D = 0,9335	T = 85	D = 0,8488
10	0,9857	60	0,9126	90	0,8332
20	0,9751	70	0,8892	95	0,8157
30	0,9646	75	0,8765	100	0,7939
40	0,9510	80	0,8630		

(42) *Densités à + 9°*
des mélanges d'alcool méthylique et d'eau
(H. DEVILLE).

Densités	Alcol méthylique °/₀	Densités	Alcool méthylique °/₀	Densités	Alcool méthylique °/₀
0,9857	5	0,9429	40	0,8619	80
0,9751	10	0,9232	50	0,8371	90
0,9709	20	0,9072	60	0,8070	100
0,9576	30	0,8873	70		

L'alcool méthylique pur et absolu a la densité exacte de 0,798 à 15° soit 99°,2 à l'alcoomètre centésimal.

(43) *Densités des mélanges d'alcool*(D = 0,809) *et d'éther.*

Alcool °/₀ en poids	Densités	Alcool °/₀ en poids	Densités	Alcool °/₀ en poids	Densités
0	0,729	40	0,765	80	0,798
10	0,737	50	0,772	90	0,801
20	0,747	60	0,779	100	0,809
30	0,756	70	0,786		

(44) ***Table donnant le poids réel du litre à 15° centigrades d'une solution de sucre pur dont le titre pour cent centimètres cubes est connu*** (**E. BARBET**)

Sucre par 100 cc.	Poids calculé du litre à 15°	Écart avec le poids réel	Poids réel du litre à 15°	Différences	Sucre par 100 cc.	Poids calculé du litre à 15°	Écart avec le poids réel	Poids réel du litre à 15°	Différences
1	1002,88	0,11	1002.99	3.84	46	1170.97	3,29	1174.26	3,69
2	1006,62	0,21	1006.83	3,84	47	1174,71	3,24	1177.95	3,69
3	1010,35	0,32	1010,67	3.84	48	1178,45	3,18	1181.63	3.68
4	1014,09	0,42	1014,51	3.84	49	1182.19	3,11	1185.30	3,67
5	1017,82	0,53	1018.35	3,84	50	1185.93	3,03	1188.96	3,66
6	1021,56	0,65	1022.21	3,84	51	1189.66	2,95	1192.61	3,65
7	1025.29	0.76	1026,05	3,84	52	1193.40	2.86	1196.26	3,65
8	1029,03	0.86	1029.89	3,84	53	1197,13	2,77	1199.90	3,64
9	1032,77	0,96	1033.73	3,84	54	1200,87	2,68	1203.55	3,65
10	1036,50	1,07	1037,57	3,84	55	1204,60	2,59	1207.19	3,64
11	1040.24	1,18	1041.42	3,85	56	1208.34	2,49	1210.83	3.64
12	1043,98	1,28	1045,26	3,84	57	1212,08	2.39	1214.47	3,64
13	1047,71	1,39	1049,10	3,84	58	1215,81	2,28	1218,09	3,62
14	1051,45	1,49	1052,94	3,84	59	1219,55	2,17	1221,72	3,63
15	1055,18	1,60	1056,78	3,84	60	1223,29	2,07	1225.36	3,64
16	1058,92	1,70	1060,62	3,84	61	1227,02	1,96	1228,98	3,62
17	1062,66	1,79	1064,45	3,83	62	1230,76	1,85	1232,61	3.63
18	1066.39	1,89	1068,28	3.83	63	1234.49	1,74	1236.23	3,62
19	1070.13	1,98	1072.11	3,83	64	1238.23	1,63	1239.86	3,63
20	1073,87	2,08	1075,95	3,84	65	1241,96	1,52	1243,48	3,62
21	1077,60	2,18	1079,78	3,83	66	1245,70	1,41	1247,11	3,63
22	1081,34	2,27	1083,61	3,83	67	1249,44	1,30	1250.74	3.63
23	1085,07	2,36	1087,43	3.82	68	1253,17	1.19	1254.36	3,62
24	1088,81	2,45	1091,26	3.83	69	1256.91	1.07	1257,98	3,62
25	1092,54	2,54	1095,08	3.82	70	1260.65	0.96	1261.61	3.63
26	1096,28	2,62	1098,90	3,82	71	1264.38	0.85	1265.23	3.62
27	1100,01	2,70	1102,71	3.81	72	1268.12	0,74	1268.86	3,63
28	1103,75	2,78	1106,53	3,82	73	1271.85	0,63	1272.48	3,62
29	1107,48	2,86	1110.34	3.81	74	1275.59	0,51	1276.10	3,62
30	1111,22	2,94	1114.16	3,82	75	1279.32	0,40	1279.72	3,62
31	1114,95	3.01	1117.96	3.80	76	1283,06	0,29	1283.35	3,63
32	1118.69	3.07	1121.76	3.80	77	1286.79	0,18	1286,97	3,62
33	1122,42	3,13	1125,55	3.79	78	1290.53	0,06	1290.59	3,62
34	1126,15	3,19	1129,34	3.79	79	1294.26	—0,05	1294.21	3,62
35	1129.89	3,24	1133.13	3.79	80	1298.00	—0,16	1297.84	3,63
36	1133.62	3.29	1136.91	3.78	81	1301.73	—0,27	1301.46	3,62
37	1137,36	3.33	1140,69	3.78	82	1305.47	—0,38	1305.09	3,63
38	1141,09	3.37	1144.46	3,77	83	1309.20	— 0.48	1308.72	3.63
39	1144.83	3,40	1148,23	3,77	84	1312,94	— 0,58	1312.36	3,64
40	1148.56	3,42	1151,98	3,75	85	1316.67	— 0,68	1315.99	3,63
41	1152.30	3,42	1155,72	3.74	86	1320.41	—0,77	1319.64	3,65
42	1156.04	3.41	1159,45	3,73	87	1324.15	—0.86	1323.29	3,65
43	1159,77	3,40	1163,17	3,72	88	1327.88	— 0,95	1326,93	3,64
44	1163.51	3.37	1166.88	3.71	89	1331.62	— 1,03	1330,59	3,66
45	1167,24	3.33	1170.57	3.69	90	1335.36	—1,10	1334.26	3,67

(15) *Table donnant les richesses en sucre pour 100 centimètres cubes d'une solution de sucre pur dont le poids du litre à 15° centig. est connu.*

Poids du litre à 15° centigrade	Sucre par 100 c. c.	Poids du litre à 15° centigrade	Sucre par 100 c. c.	Poids du litre à 15° centigrade	Sucre par 100 c. c.	Poids du litre à 15° centigrade	Sucre par 100 c. c.	Poids du litre à 15° centigrade	Sucre par 100 c. c.
999,15	0,000	1040	10,63	1081	21,32	1146	38,41	1187	49,46
1000	0,22	1	10,89	2	21,58	7	38,67	8	49,73
1001	0,48	2	11,15	3	21,84	8	38,94	9	50,00
2	0,74	3	11,41	4	22,10	9	39,20	1190	50,28
3	1,00	4	11,67	5	22,36	1150	39,47	1	50,55
4	1,26	5	11,93	6	22,62	1	39.73	2	50,83
5	1,52	6	12.19	7	22,88	2	40,00	3	51,10
6	1,78	7	12,45	8	23,14	3	40,27	4	51,38
7	2,04	8	12,71	9	23,40	4	40,54	5	51,65
8	2,30	9	12,97	1090	23.67	5	40,80	6	51,92
9	2,56	1050	13,23	1115	30,22	6	41,07	7	52,20
1010	2,83	1	13,50	6	30,48	7	41,33	8	52,47
1	3,09	2	13,76	7	30.74	8	41,60	9	52,75
2	3,35	3	14,02	8	31,01	9	41,87	1200	53,02
3	3,61	4	14,28	9	31.27	1160	42,14	1	53,30
4	3,87	5	14,54	1120	31,54	1	42,41	2	53 57
5	4,13	6	14,80	1	31,80	2	42,68	3	53,85
6	4,39	7	15,06	2	32,06	3	42,95	4	54,12
7	4,65	8	15,32	3	32,33	4	43,22	5	54,40
8	4,91	9	15,58	4	32,59	5	43,49	6	54,67
9	5,17	1060	15.84	5	32,85	6	43,76	7	54,95
1020	5,43	1	16.10	6	33,12	7	44,03	8	55,22
1	5,69	2	16.36	7	33.38	8	44.30	9	55,50
2	5,95	3	16,62	8	33.64	9	44,57	1210	55,77
3	6,21	4	16.88	9	33,91	1170	44,85	1	56,05
4	6,47	5	17,14	1130	34.17	1	45,12	2	56.32
5	6,73	6	17,40	1	34,44	2	45,39	3	56,59
6	6,99	7	17,66	2	34,70	3	45,66	4	56,87
7	7,25	8	17,92	3	34,96	4	45,93	5	57.14
8	7,51	9	18,18	4	35,23	5	46,20	6	57,42
9	7,77	1070	18,45	5	35,49	6	46,47	7	57,69
1030	8,03	1	18,71	6	35,76	7	46.74	8	57,97
1	8,29	2	18,97	7	36,02	8	47,01	9	58,24
2	8,55	3	19,23	8	36,29	9	47.28	1220	58,52
3	8,81	4	19,49	9	36,55	1180	47,55	1225	59,90
4	9,07	5	19,75	1140	36,82	1	47,83	1230	61.28
5	9,33	6	20,01	1	37.08	2	48,10	1235	62,65
6	9,59	7	20,27	2	37,35	3	48,37	1240	64,02
7	9,85	8	20.53	3	37,61	4	48.64	1250	66,80
8	10,11	9	20,79	4	37,88	5	48,91		
1039	10.37	1080	21,06	1145	38,14	1186	49.19		

(46) *Densités des solutions de sucre de canne et de raisin donnant leur richesse en sucre de canne et de raisin* (POHL).

Densités — Sucre de canne	Densités — Sucre de raisin	Quantités %	Densités — Sucre de canne	Densités — Sucre de raisin	Quantités %
1,0080	1,0072	2	1,0616	1,0616	15
1,0201	1,0200	5	1,0704	1,0693	17
1,0281	1,0275	7	1,0838	1,0830	20
1,0405	1,0406	10	1,0929	1,0909	22
1,0487	1,0480	12	1,1068	1,1021	25

(47) *Solubilité du sucre dans les mélanges d'eau et d'alcool.*

Richesse du dissolvant en alcool	à 0°		à 14°		à 40°
	Densités à 17°,5	Sucre dans 100cc	Densités à 17°	Sucre dans 100cc	Sucre dans 100c
0	1,3248	85,8	1,3258	87,5	105,2
10	1,2991	80,7	1,3000	81,5	95,4
20	1,2360	74,2	1,2662	74,5	90,0
30	1,2293	65,5	1,2327	67,9	82,2
40	1,1823	56,7	1,1848	58,0	74.9
50	1,1294	45,9	1,1305	47,1	63.4
60	1,0500	32,9	1,0582	33,9	49,9
70	0,9721	18,2	0,9746	18,8	31,4
80	0,8931	6,4	0,8953	6,6	13,3
90	0,8369	0,7	0,8376	0,9	2,3
97.4	0,8062	0,08	0,8082	0,36	0,5

(48) *Mélanges réfrigérants.*

Mélanges réfrigérants de liquides et de sels pris à 10°

	Proportion	Températ. obtenue
Eau	1	— 16°
Azotate d'ammonium pulvérisé	1	
Sel ammoniac pulvérisé	5	12
Azotate de potassium pulvérisé	5	
Eau	16	
Acide chlorhydrique	5	18
Sulfate de sodium pulvérisé	8	

Mélanges de neige et de sel à 0°.

	Proportion	Températ. obtenue
Neige	1	— 18°
Sel marin	1	
Neige	2	51
Chlorure de calcium cristallisé, pulvérisé	3	
Neige refroidie à — 18°	1	55
Chlorure de calcium cristallisé, pulvérisé à — 18°	2	
Acide sulfurique avec 1/2 volume d'eau, refroidi à 0°	1	33
Neige	2	

(49) *Points d'ébullition de quelques solutions saturées.*

Nom du sel dissous	Point d'ébullition	Quantité de sel pour 100 d'eau
Acétate de potassium	169°	800
— de sodium	124,4	209
Azotate d'ammonium	164	209
— de calcium	151	362
— de potassium	116	335
Carbonate de potassium	135	205
— de sodium	104,6	48,5
Chlorure d'ammonium	114,2	89
— de baryum	104,4	60
— de calcium	179,5	325
— de potassium	108,4	59,4
— de sodium	108,4	40,2
Phosphate de sodium	106,6	112,6

Pour les points d'ébullition des liquides voir table (55).
Pour les solubilités des corps, voir table (54), (55), (56).

(50) *Solubilité de quelques gaz dans l'eau et l'alcool* (BUNSEN et CARIUS)

Gaz		à 0°	à 4°	à 10°	à 15°	à 20°
Azote	dans l'eau	0,02035	0,01838	0,01607	0,01478	0,01403
—	— l'alcool	0,12634	0,12476	0,12276	0,12142	0,12038
Hydrogène	— l'eau	0,01930	0,01930	0,01930	0,01930	0,01930
—	— l'alcool	0,06925	0,06867	0,06786	0,00725	0,06668
Oxygène	— l'eau	0,04114	0,03717	0,03250	0,02989	0,02838
—	— l'alcool	0,28397	0,28397	0,28397	0,28397	0,28397
Acide carbonique	— l'eau	1,7987	1,5126	1,1847	1,0020	0,9014
—	— l'alcool	4,3295	3,9736	3,5140	3,1993	2,9465
Oxyde de carbone	— l'eau	0,03287	0,02987	0,02635	0,02432	0,02312
—	— l'alcool	0,20443	0,20443	0,20443	0,20443	0,20443
Protoxyde d'azote	— l'eau	1,3052	1,1346	0,9196	0,7778	0,6700
—	— l'alcool	4,1780	3,9085	3,5408	3,2678	3,0253
Bioxyde d'azote	— —	0,31606	0,30290	0,28609	0,27478	0,26592
Gaz des marais	— l'eau	0,05449	0,04993	0,04372	0,03909	0,03499
—	— l'alcool	0,52259	0,51135	0,49535	0,48280	0,47096
Gaz oléfiant	— l'eau	0,2568	0,2227	0,1837	0,1615	0,1488
—	— l'alcool	3,5950	3,3750	3,0859	2,8825	2,7131
Butane	— l'eau	0,03147	0,02770	0,02355	0,02147	0,02065
Ethane	— —	0,0874	0,0748	0,0599	0,0508	0,0447
Hydrogène sulfuré	— —	4,3706	4,0442	3,5858	3,2326	2,9053
—	— l'alcool	17,891	15,373	11,992	9,539	7,415
Acide sulfureux	— l'eau	79,789	69,828	56,647	47,276	39,374
—	— l'alcool	328,62	265,81	190,31	144,55	114,48
Ammoniaque	— l'eau	1049,6	941,9	812,8	727,2	654,0
Air atmosphérique	— l'eau	0,02471	0,02237	0,01953	0,01795	0,01704

CHAPITRE V

Documents relatifs à la Chimie et Méthodes générales d'analyse

(51) *Equivalents, Poids atomiques et Chaleurs spécifiques des corps simples.*

Corps simples	Symbole	Équivalent	Poids atomiques	Chaleur spécifique
Aluminium	Al	13,75	27	0,2143
Antimoine. . . .	Sb	122	119,6	0,0523
Argent.	Ag	108	107,7	0,0570
Arsenic	As	75	75	0,0814
Azote	Az	14	14	
Baryum	Ba	68	137	
Bismuth	Bi	210	207,5	0,0305
Bore	Bo	11	10.9	0,5 à 600°
Brome	Br	80	79.8	0,0843
Cadmium	Cd	56	111,7	0,0567
Calcium . . .	Ca	20	40	
Carbone . . .	C	6	12	0,46 à 600°
Cérium.	Ce	46	92	
Césium.	Cs	132,6	132,6	
Chlore	Cl	35,5	35,4	
Chrome	Cr	26,2	52	
Cobalt.	Co	29.5	58.7	0,1067
Cuivre.	Cu	31,75	63,3	0,0952
Didyme	Di	48	96	
Etain	Sn	59	118	0,0548
Fer.	Fe	28	55,9	0,1138
Fluor	Fl	19	19	
Gallium	Ga	»	68 (?)	
Glucinium. . . .	Gl	7	14	
Hydrogène . . .	H	1	1	
Indium.	In	56,7	113,4	0,0570
Iode	I	127	126,5	0,0541
Iridium	Ir	98,6	197,2	0,0326
Lanthane	La	46	92	
Lithium	Li	7	7	0,9408
Magnésium . . .	Mg	12	24	0.2499
Manganèse. . . .	Mn	27,5	54.8	0.1217
Mercure	Hg	100	200	0,0319
Molybdène. . . .	Mo	48	96	0,0722

Equivalents, poids atomiques et chaleurs spécifiques (Suite).

Corps simples	Symbole	Équiva-lent	Poids atomiques	Chaleur spécifique
Nickel	Ni	29,5	58,6	0,1092
Or	Au	197	196,6	0,0321
Osmium	Os	100	200	0,0311
Oxygène	O	8	16	
Palladium. . . .	Pd	53	106	0,0593
Phosphore. . . .	P	31	31	0,202
Platine.	Pt	99	194,4	0,0324
Plomb.	Pb	103,5	206,4	
Potassium. . . .	K	39,1	39,1	0,1655
Rhodium	Rh	52	104	0,0580
Rubidium	Rb	85,4	85,4	
Ruthénium . . .	Ru	52	104	
Sélénium	Se	39,5	79	0,0762
Silicium	Si	14	28	0,202 à 1000°
Sodium	Na	23	23	0,2934
Soufre	S	16	32	0,1776
Strontium. . .	Sr	43,75	87,5	
Tantale	Ta	68,8	137,6	
Tellure.	Te	64	128	0,0474
Thallium	Tl	204	204	0,0336
Titane.	Ti	25	50	
Tungstène. . . .	W	92	184	0,0334
Uranium	U	120	120	
Vanadium	V	51,4	51,2	
Zinc	Zn	32,5	65	0,0996
Zirconium. . . .	Zr	44,8	89,6	

(52) *Facteurs pour le calcul des analyses.*

Elément dosé	Corps trouvé	Corps cherché	Facteur
	Chlorure AzH^4Cl	AzH^3	0,31866
Ammonium.	Chloroplatinate $(AzH^4)^2PtCl^6$.	id.	0,07687
	Platine Pt	id.	0,17509
	Chloroplatinate $(AzH^4)^2PtCl^6$.	Az^2	0,06332
Azote . .	Platine Pt	id.	0,14421
	Anhydride azotique Az^2O^5 . .	id.	0,25987
	Sulfate $BaSO^4$	BaO	0,65678
Baryum. .	Carbonate $BaCO^3$	id.	0,77688
	Fluosilicate $BaSiFl^6$ . . .	id.	0,54731

Facteurs pour le calcul des analyses (Suite).

Élément dosé	Corps trouvé	Corps cherché	Facteur
Calcium.	Sulfate $CaSO^4$	CaO	0,41163
	Carbonate $CaCO^3$	id.	0,56004
Carbone	Anhydride carbonique CO^2	C	0,27273
	Carbonate de chaux $CaCo^3$	CO^2	0,43995
	» de baryum $BaCO^3$	CO^2	0,22312
Chlore	Chlorure d'argent AgCl	Cl	0,24729
	» »	HCl	0,25428
Cuivre	Oxyde CuO	Cu	0,79864
Fer	Oxyde Fe^2O^3	Fe^2	0,70007
Fluor	Fluorure de calcium $CaFl^2$	Fl^2	0,48853
Hydrogène	Eau H^2O	H^2	0,11136
Iode	Iodure d'argent AgI	I	0,54031
Magnésium	Sulfate $MgSO^4$	MgO	0,33516
	Pyrophosphate $Mg^2P^2O^7$	2 MgO	0,36231
Phosphore	Pyrophosphate de magnésium $Mg^2P^2O^7$	P^2O^5	0,63769
	Pyrophosphate d'argent $Ag^4P^2O^7$	id.	0,23453
	» d'uranyle $(UO)^4P^2O^7$	id.	0,19763
Plomb	Chlorure $PbCl^2$	Pb	0,74474
	Oxyde PbO	id.	0,92822
	Sulfure PbS	PbO	0,93279
	Sulfate $PbSO^4$	Pb	0,69293
Potassium	Chlorure KCl	$^1/_2\,K^2O$	0,63185
	Chloroplatinate K^2PtCl^6	K^2	0,16109
	Platine	id.	0,40231
	Sulfate K^2SO^4	K^2O	0,54072
	Azotate $KAzO^3$	$^1/_2\,K^2O$	0,46581
Silicium	Silice SiO^2	Si	0,46729
	Fluosilicate de potasse K^2SiFl^6	H^2SiFl^6	0,65493
Sodium	Chlorure NaCl	$^1/_2\,Na^2O$	0,53075
	Sulfate Na^2SO^4	Na^2O	0,43689
	Carbonate	id.	0,58536
Soufre	Sulfate de baryte $BaSO^4$	S	0,13744
	» » »	SO^3	0,34322
	» » »	H^2SO^4	0,42041
	Anhydride SO^3	SO^2	0,80015
	Acide sulfurique H^2SO^4	SO^3	0,81640
Strontium	Sulfate $SrSO^4$	SrO	0,56389
Zinc	Oxyde ZnO	Zn	0,80342
	Sulfure ZnS	id.	0,67102
Sucres	Saccharose ou sucres de la formule $C^{12}H^{22}O^{11}$	$C^6H^{12}O^6$	1,05263
		$nC^6H^{10}O^5$	0,94736
	Sucres de la formule $C^6H^{12}O^6$	$C^{12}H^{22}O^{11}$	0,95
		$nC^6H^{10}O^5$	0,90
	Amidons de la formule $nC^6H^{10}O^5$	$C^{12}H^{22}O^{11}$	1,05555
		$C^6H^{12}O^6$	1,11111

(53) *Formules pour les analyses indirectes* (1)

POTASSIUM ET SODIUM PAR LES SULFATES

Soit : P poids des sulfates mélangés,
S poids de l'anhydride sulfurique SO^3 contenu dans P,
K poids du sulfate de potassium contenu dans P,
Na poids du sulfate de sodium contenu dans P.

On a :

$$K = 5,41785\,P - 9,61908\,S. \qquad Na = P - K.$$

POTASSIUM ET SODIUM PAR LES CHLORURES

Soit : P poids des chlorures mélangés,
C poids du chlore contenu dans P,
K et Na poids des chlorures respectifs.

On a :

$$K = 4,63485\,P - 7,61761\,C. \qquad Na = P - K.$$

STRONTIUM ET CALCIUM PAR LES CARBONATES

Soit : P poids du carbonate mixte,
C poids de l'anhydride carbonique CO^2 contenu dans P,
Ca et Sr poids des carbonates respectifs.

On a :

$$Sr = 3,10537\,P - 7,05766\,C. \qquad Ca = P - Sr.$$

CHLORE ET BROME

Soit : P poids du chlorure et bromure d'argent mélangés,
A perte de poids P après le traitement par le chlore,
Br poids du bromure et Cl poids du chlorure d'argent.

On a :

$$Br = 4,22254\,A. \qquad Cl = P - Br.$$

(54) *Propriétés des Sucres.*

ABRÉVIATIONS EMPLOYÉES :

i. = insoluble dans ; sol. = soluble ; ts. = très soluble ; ps. = peu soluble ; b. = bouillant ; déliq. = déliquescent ; déc. = décomposé par le dissolvant ; amm. = ammoniaque ; ∞ = en toutes proportions ; aq. = H^2O eau de cristallisation ; f = point de fusion = font à ; — = perd.

(1) *Agenda du chimiste* (Hachette 1893).

Sucres	Eau de crist.	Perte d'eau à t°	Solubilité dans 100 p. Eau	Alcool	Ether	Point de fusion
Sucre $C^5H^{10}O^5$						
Arabinose .	. .	. . . .	s:	ps.	i.	160°
Sucre $C^5H^{12}O^5$						
Arabite . .	. .	. . . .	s.	ps.	i.	102
Sucres alcools $C^6H^{14}O^6$						
Mannite . .	. .	. . .	16; bts.	0,06; bs.	i.	165
Dulcite . .	. .	. . .	4; bts.	i.	i.	182
Sorbite . .	½ aq.	. . .	s.	s.	. .	110
Sucres de la formule $C^6H^{12}O^6$ (Sucres réduisant la liqueur de Fehling)						
Glucose . .	1 aq.	aq. à 90°	81;b.ext.s	2; b. 20	i.	+ aq.82
Lévulose .	. .	. . .	ts.	ps.	i.	
Sorbine . .	. .	. . .	200	bps.	. .	
Galactose .	. .	. . .	bts.	ps.	i.	162
(Ne réduisant pas cette liqueur)						
Inosite. . .	2 aq.	2 aq. à 100	15; bts.	i.	i.	225
Dambosc. .	. .	. . .	ts.	i.	. .	212
Sucres de la formule $C^{12}H^{22}O^{11}$						
Saccharose.	. .	. . .	300; bts.	i; b. 2	i.	160
Lactose . .	1 aq.	aq. à 140°	20; b. 40	i.	i.	
Maltose . .	1 aq.	aq. à 100	ts.	s.	. .	
Sucres de la formule $C^6H^{12}O^5$						
Quercite . .	. .	. . .	10; bts.	bps.	i.	223
Pinite. . .	. .	. . .	ts.	i; bps.	i.	150
Sucre $C^7H^{16}O^7$						
Perséite. .	. .	. . . .	s.	bps.	i.	188
Glucosides						
Amygdaline $C^{20}H^{27}AzO^{11}$	3 aq.	3 aq. à 120	8; bts.	0,1; b. 9	i.	200
Salicine : $C^{13}A^{18}O^7$.	. .	. . .	7; bts.	ps.	i.	120
Coniférine $C^{16}H^{22}O^8$.	2 aq	2 aq. à 100	0,5 bs.	i.	i.	185
Populine : $C^{20}H^{22}O^8$.	2 aq.	2 aq. à 100	0,05;b.1,3	1; bs.	ps.	180
Matières amylacées $C^6H^{10}O^5$						
Dextrines. .	. .	. . .	s.	i.	i.	
Gomme arabique . .	½ aq.	½ aq. à 120	s.	i.	i.	
Amidon . .	. .	. .	i. se gonfle	i.	i.	

(55) *Propriétés des principaux corps organiques : Alcools et dérivés de la série grasse.*

Corps	Formules	Poids moléculaires	Densités	Point de fusion	Point d'ébullition	Solution dans 100 p. eau
Série méthylique :				°	°	
Acétate de méthyle	$CH^3.C^2H^3O^2$	74	0,9562	liq.	56	ts.
Acide cyanhydrique	$CAzH$	27	0,706 à 7°	— 14°	26,1	∞
— formique	CH^2O^2	46	1,227 à 0	8°,5	105,3	∞
Alcool méthylique.	CH^4O	32	0,798 à 15	liq.	66,3	∞
Chloroforme	$CHCl^3$	120	1,5264 à 0	— 70	61,2	i.
Formiate de méthyle.	$CH^3.CO^2H$	60	0,993 à 0	liq.	33,4	p. s.
Iodoforme	CHI^3	394	2 environ	119	vol.	i.
Iodure de méthyle.	CH^3I	142	2,1992 à 0°	liq.	43,8	1,75
Méthylamine (mono)	CH^3AzH^2	31	. . .	. .	0	100 v.
— (di)	$(CH^3)^2AzH$	45	. . .	liq.	8	s.
— (tri)	$(CH^3)^3Az$	59	. . .	liq.	9,3	i.
Oxalate de méthyle	$(CH^3)^2C^2O^4$	118	1,1566	51	163,5	ps. déc.
Urée (carbamide).	$CO(AzH^2)^2$	60	1,328	132	déc.	100
Série éthylique :						
Acétal	$CH^3.CH(OC^2H^5)^2$	118	0,831 à 20°	liq.	104	6
Acétate d'éthyle	$C^2H^5.C^2H^3O^2$	88	0,907 à 15	liq.	77,1	9
Acide acétique.	$CH^3 CO^2H$	60	1,0801	16	117,3	∞
— oxalique.	$(CO^2H)^2, 2 aq$	126	1,63 à 0	100	déc. part.	ts.
Alcool éthylique	$CH^3.CH^2OH$	46	0,8026 à 0	— 130	78,05	∞
Aldéhyde	$CH^3.CHO$	44	0,806 à 0	liq.	20,8	∞
Aldéhydate d'ammoniaque	$CH^3.CH.OH.AzH^2$	61	. . . .	75	100	ts.
Anhydride acétique	$(CH^3CO)^2O$	102	1,073 à 20	liq.	137,5	déc.
Butyrate d'éthyle.	$C^4H^7O^2.C^2H^5$	116	0,891 à 20	liq.	121	i.
— (iso) —	$C^4H^7O^2.C^2H^5$	116	0,871 à 18	liq.	110,1	i.

Caprate —	$C^{10}H^{19}O^2.C^2H^5$	200	0,862	liq.	243	i.
Caproate —	$C^6H^{11}O^2.C^2H^5$	144	0,882	liq.	162	i.
Caprylate —	$C^8H^{15}O^2.C^2H^5$	172	0,8738 à 15	liq.	214	i.
Carbonate —	$CO^3(C^2H^5)^2$	112	0,976 à 20	liq.	126,4	i.
Chloral.	$CCl^3.COH$	148	1,512 à 20	— 75	99,1	s.
Chlorure d'éthyle	$Cl\ C^2H^5$	64,5	0,925 à 0	liq.	12,5	2
Ethylamine (mono)	$C^2H^5.AzH^2$	45	0,696	liq.	18,7	∞
— (di)	$(C^2H^5)^2AzH$	73	. . .	liq.	57	s.
— (tri)	$(C^2H^5)^3Az$	101	. . .	liq.	89	p. s.
Formiate d'éthyle.	$C^2H^5.CHO^2$	74	0,917 à 17	liq.	54,3	11
Iodure —	$C^2H^5.I$	156	0,944 à 15	liq.	72,3	tp. s.
Nitrate —	$C^2H^5.O.AzO^2$	91	1,112	liq.	87,2	i.
Nitrite —	$C^2H^5.O.AzO$	75	0,940	liq.	17	i.
Œnanthylate— (éther œnanthique) .	$C^2H^5.C^7H^{13}O^2$	158	0,8735 à 16	liq.	188	i.
Oxalate —	$(CO^2.C^2H^5)^2$	146	1,082 à 18	liq.	186	p. s. déc.
Oxyde — (éther ordinaire) . .	$(C^2H^5)^2O$	74	0,736 à 0	liq.	34,8	8
Propionate —	$C^2H^5.C^3H^5O^2$	102	0,914 à 0	liq.	98,3	i.
Salicylate —	$C^6H^4.(OH).CO^2.C^2H^5$	166	1,18 à 20	liq.	221	i.
Succinate —	$(C^2H^5)^2.C^4H^4O^4$	174	1,0718 à 0	liq.	217,5	i.
Tartrate —	$(CH.OH.CO^2.C^2H^5)^2$	206	1,199 à 20	liq.	162 vide	s.
Valérate (iso) —	$C^2H^5.C^5H^9O^2$	130	0,872 à 18	liq.	134,3	i.
Paraldéhyde —	$C^6H^{12}O^3$ (?)	132	0,998 à 15	10,5	124	12
Série propylique :						
Acétate d'isopropyle	$(CH^3)^2.CH.C^2H^3O^2$	102	. . .	liq.	123	i.
— de propyle	$C^3H^7.C^2H^3O^2$	102	0,899 à 15	liq.	100,8	i.
Acétone.	$CH^3.CO.CH^3$	58	0,810 à 0	liq.	56,4	∞
Acide lactique de fermentation . . .	$CH^3.CH(OH).CO^2H$	90	1,215 à 20	liq.	déc.	∞
— propionique	$CH^3.CH^2CO^2H$	74	0,992 à 18	— 21	141	∞
Acroléine	$CH^2.CH.COH$	56	0,841 à 20	liq.	52	2,5
Alcool allylique	$CH^2.CH.CH^2OH$	58	0,871 à 0	liq.	97	∞
— isopropylique	$(CH^3)^2CHOH$	60	0,800 à 0	liq.	83	∞
— propylique	$CH^3.CH^2.CH^2OH$	60	0,820 à 0	liq.	97	∞
Aldéhyde propionique.	$CH^3.CH^2.COH$	58	0,8075 à 21	liq.	48,7	∞
Glycérine	$(CH^2.OH)^2CH.OH$	92	1,26 à 15	liq.	290,4	∞

Propriétés des principaux corps organiques : Alcools et dérivés de la série grasse. (Suite.)

Corps	Formules	Poids moléculaires	Densités	Point de fusion	Point d'ébullition	Solution dans 100 p. eau
Série butylique :						
Acétate de butyle normal.	$CH^3.CH^2.CH^2.CH^2(C^2H^3O^2)$	116	0,900 à 0°	liq.	125,1	i.
— — secondaire. . . .	$CH^3.CH^2.CH(C^2H^3O^2)CH^3$	116	0,892 à 0	liq.	111	i.
— d'iso — primaire	$(CH^3)^2CH.CH^2(C^2H^3O^2)$	116	0,905 à 0	liq.	116,4	i.
— — — tertiaire	$(CH^3)^3.C.(C^2H^3O^2)$	116	. . . .	liq.	96	i.
Acide aspartique	$CO^2H.CH^2.CH(AzH^2)CO^2H$	134	. . . .	déc.	déc.	b s.
— butyrique de fermentation. . .	$CH^3.CH^2.CH^2CO^2H$	88	0,959 à 20	liq.	160	∞
— isobutyrique.	$(CH^3)^2CH.CO^2H$	88	0,950 à 20	. .	205	33
— succinique	$(CO^2H.CH^2)^2$	118	1,552	180	235	5,2 ; b. 121
— isosuccinique	$CH^3.CH(CO^2H)^2$	118	. . . . .	129,5	déc.	20
— tartrique.	$CO^2H.CH(OH).CH(OH).CO^2H$	150	1,74	135	déc.	t s.
— malique	$CO^2H.CH^2.CH(OH).CO^2H$	134	1,56	100	déc.	t.s.
Alcool butylique normal.	$CH^3.CH^2.CH^2.CH^2OH$	74	0,824 à 20	liq.	116	9
— — secondaire	$CH^3.CH^2.CH(OH).CH^3$	74	0,85 à 0	liq.	99	p. s.
— isobutylique primaire. . . .	$(CH^3)^2.CH.CH^2OH$	74	0,8003 à 18	liq.	108	10
— — tertiaire	$(CH^3)^3.C.OH$	74	0,78 à 30	24	82,5	s.
Aldéhyde butyrique	$C^3H^7.CHO$	72	0,834 à 0	liq.	75	3,7
— isobutyrique.	$(CH^3)^2.CH.CHO$	72	0,815 à 0	liq.	62	9,1
Asparagine.	$C^4H^8Az^2O^3$, aq.	150	. . . .	déc.	. .	1,8 ; b 23
Glycol isobutylénique.	$(CH^3)^2C.OH.CH^2OH$	90	1,013 à 0	liq.	177	∞
Série amylique :						
Acétate d'amyle normal	$C^5H^{11}.C^2H^3O^2$	130	0,896 à 0	liq.	148,4	i.
— — (iso) primaire . . .	id.	130	0,884 à 0	liq.	137,6	i.
— — — primaire actif .	id.	130	0,876 à 0	liq.	144	i.

Acide valérique normal	$CH^3(CH^2)^3CO^2H$	102	0,958 à 0	liq.	184	4
— — (iso) (valérianique)	$(CH^3)^2CH.CH^2.CO^2H$	102	0,947 à 0	liq.	165	3,3
— — — actif	$CO^2H.CH.(CH^3).CH^2.CH^3$	102	0,938 à 0	liq.	175	p. s.
— — (trimethylacetique)	$(CH^3)^3C.CO^2H$	102	< 1	35	164	2,5
Alcool amylique normal	$C^4H^9.CH^2OH$	88	0,830 à 0	liq.	137	p. s
— isoamylique primaire ferment.	$(CH^3)^2.CH.CH^2.CH^2OH$	88	0,825 à 0	liq.	132	p. s.
— isoamylique prim. actif ferment.	$C^2H^5.CH.CH^3.CH^2OH$	88	. . . . .	liq.	127	p. s.
— amyl. sec. (Méthylpropylcarbinol)	$CH^3.CHOH.C^3H^7$	88	0,825 à 0	liq.	119	14
— — (Diethylcarbinol)	$(C^2H^5)^2CHOH$	88	0,832 à 0	liq.	116	p. s.
— —(Méthylisopropylcarbinol)	$CH^3.CHOH.CH(CH^3)^2$	88	0,827 à 17	liq.	108	p. s.
— amylique tertiaire (Ethyldiméthyl-carbinol)	$(CH^3)^2C.OH.C^2H^5$	88	0,828 à 0	— 21	96	p. s.
Aldéhyde valérique normale	$CH^3.CH^2.CH^2.CH^2.CHO$	86	. . . . .	liq.	102	p. s.
— isovalérique	$(CH^3)^2CH.CH^2.CHO$	86	0,768 à 12	liq.	92,5	p. s.
Amylamine (iso primaire)	$C^5H^{13}Az$	87	0,7503 à 18	liq.	93	i.
Butyrate d'isoamyle	$C^4H^7O^2.C^5H^{11}$	158	. . . . .	liq.	176	p. s.
Caproate —	$C^6H^{11}O^2.C^5H^{11}$	186	. . . . .	liq.	211	i.
Formiate —	$CHO^2.C^5H^{11}$	116	0,874	liq.	116	i.
Furfurol	$C^4H^3O.COH$	96	1,165 à 16	liq.	162	9
Propionate d'isoamyle	$C^3H^5O^2.C^5H^{11}$	144	< 1	liq.	100	i.
Valérate	$C^5H^9O^2.C^5H^{11}$	172	. . . . .	liq.	196	p. s.
Séries hexylique :						
Acide caproïque normal	$C^5H^{11}.CO^2H$	116	0,928 à 20	— 2	204	p. s.
— — (iso)	$(CH^3)^2CH.(CH^2)^2CO^2H$	116	0,925 à 20	liq.	200	p. s.
— citrique	$C^3H^4(OH)(CO^2H)^3$. aq.	210	1,553	100	dc.	s.
Alcool hexylique normal	$CH^3.(CH^2)^4.CH^2OH$	102	0,833 à 0	liq.	158	i.
Aldéhyde caproïque (iso)	$C^6H^{12}O$	100	. . . . .	liq.	121	p. s.
Séries supérieures :						
Acide œnanthylique normal	$C^7H^{14}O^2$	130	0,9345 à 0	10,5	223	p. s. ; bs.
— stéarique	$C^{18}H^{36}O^2$	284	1,01	69,2	287 (10)	i.
Aldéhyde œnanthylique (œnanthol)	$C^7H^{14}O$	114	. . . . .	liq.	155	p. s.
Parafine	C^nH^{2n+2}	.	. . . . .	45-65	> 300	i.

(56) *Sels des acides organiques.*

Sels	Formules	Perte d'eau à t^o	Solubilité dans 100 p.		
			Eau	Alcool	Ether
Acétate d'ammonium.	$C^2H^3O^2.AzH^4$	Décomp.	ts.	s.	
— d'argent	$C^2H^3O^2.Ag$	. . . . . .	1; bs.	i.	i.
— de baryum	$(C^2H^3O^2)^2Ba + aq$	aq. à 100°	8; b. 96	1; b. 1,5	i.
— de calcium	$(C^2H^3O^2)^2Ca + aq$	eff.	23	4	i.
— de plomb.	$(C^2H^3O^2)^2Pb + 3 aq$	3 aq. à 100	66; b. 200	s.	i.
— de potassium	$C^2H^3O^2K$	. . . . . .	190; b. 800	30; b. 50	i.
— de sodium	$C^2H^3O^2Na + 3 aq.$	eff.	28; b. 204	45	i.
Butyrate de calcium.	$(C^4H^7O^2)^2Ca + n aq.$	n aq. avant 140	18	ps.	
Citrate d'ammonium	$C^2H^6O^7(AzH^4)^2$	. . . . . .	s.	s.	
— de calcium	$(C^6H^5O^7)^2Ca^3 + 2 aq.$	2 aq. à 200	ps.	i.	
— de magnésium	$(C^6H^5O^7)^2Mg^3 + 14 aq.$	14 aq. à 210	ts.	i.	
— de sodium.	$(C^6H^5O^7Na^3)^2 + 11 aq.$	7 aq. à 100; 4 à 200	40	ps.	

Formiate d'ammonium	$CHO^2 . AzH^4$	. . . . . .	ts.	ps.	i.
— de calcium	$(CHO^2)^2 Ca$	. . . . . .	10	i.	i.
— de sodium	CHO^2Na (qqf. + aq.)	effl.	50	ps.	i.
Lactate de calcium	$(C^3H^5O^3)^2 Ca + 5$ aq.	5 aq. dans le vide	11 ; bts.	0,2 ; b. 90	i.
Malate —	$(C^4H^4O^5) Ca + 2$ aq.	aq. 100 ; aq. 180	ts.		
Oxalate d'ammonium	$C^2O^4 (AzH^4)^2 +$ aq.	effl.	33	i.	i.
— de calcium	$C^2O^4 Ca +$ aq. et 3 aq.	n aq. à 150	i.	i.	i.
— de sodium	$C^2O^4 Na^2$	. . . . . .	3,5 ; b. 7		
— de potassium	$C^2O^4K^2 +$ aq.	aq. à 160	33	i.	i.
— (bi) —	$C^2O^4KH +$ aq.	. . . . . .	2,5 ; b. 17	b. 3	i.
— (tétra-) de potassium	$C^2O^4KH + C^2O^4H^2 + 2$ aq.	2 aq. à 128	5		
Succinate d'ammonium	$C^4H^4O^4 (AzH^4)^2$	. . . . . .	ts.	ts.	
— de calcium	$C^4H^4O^4Ca + 3$ aq.	3 aq. à 150	ps.	i.	
— de potassium	$C^4H^4O^4K^2 + 2$ aq.	2 aq. à 100	ts.	s.	i.
— de sodium	$C^4H^4O^4 Na^2 + 6$ aq.	6 aq. à 100	s., bts.	s.	i.
Tartrate (bi) d'ammonium	$C^4H^5O^6 Az H^4$	. . . . . .	2 ; bts.		
— de calcium	$C^4H^4O^6 Ca + 4$ aq.	3 aq. à 150	0,08 ; b. 0,28	i.	i.
— (bi) de calcium	$(C^4H^5O^6)^2 Ca$	. . . . . .	0,7 ; bs.	i.	i.
— de potassium	$(C^4H^4O^6K^2)^2 +$ aq.	aq. à 180	150	b. 0,4	i.
— (bi) de potassium	$C^4H^5O^6K$	. . . . . .	0,48 ; b. 7	i.	i.
Paratartrate de calcium	$C^4H^4O^6 Ca + 4$ aq.	4 aq. à 200	i	i.	i.
— de potassium	$C^4H^4O^6K^2 + 2$ aq.	2 aq. à 100	100 ; bts.	i.	i.
— (bi) de potassium	$C^4H^5O^6K$	. . . . . .	0,5 ; b. 7	i.	i.

(57) *Densités à + 15° des solutions d'acide chlorhydrique, donnant leur richesse en* HCl (d'après Lunge et Marchlewski) (1).

Poids spécifique à 15°	Degré Baumé	HCl %	HCl par litre en kilogr.	Poids spécifique à 15°	Degré Baumé	HCl %	HCl par litre en kilogr.
1,000	0,0	0,16	0,0016	1,105	13,6	20,97	0 232
1,005	0,7	1,15	0,012	1,110	14,2	21,92	0,243
1,010	1,4	2,14	0,022	1,115	14,9	22,86	0,250
1,015	2,1	3,12	0,032	1,120	15,4	23,82	0,267
1,020	2,7	4,13	0,042	1,125	16,0	24,78	0,278
1,025	3,4	5,15	0,053	1,130	16,5	25,75	0,291
1,030	4,1	6,15	0,064	1,135	17,1	26,70	0,303
1,035	4,7	7,15	0,074	1,140	17,7	27,66	0,315
1,040	5,4	8,16	0.085	1,145	18.3	28,61	0,328
1.045	6,0	9,16	0,096	1,150	18,8	29,57	0,340
1,050	6,7	10,17	0,107	1,155	19,3	30,55	0,353
1,055	7,4	11,18	0,118	1,160	19,8	31,52	0,366
1,060	8,0	12,19	0,129	1,165	20,3	32,49	0,379
1,065	8,7	13,19	0,141	1,170	20,9	33,46	0,392
1,070	9,4	14,17	0,152	1,175	21,4	34,42	0,404
1,075	10,0	15,16	0,163	1,180	22,0	35,39	0,418
1 080	10,6	16,15	0,174	1,185	22,5	36,37	0,430
1 085	11,2	17,13	0,186	1,190	23,0	37,23	0,443
1,090	11,9	18,11	0.197	1,195	23,5	38,16	0,456
1,095	12,4	19,06	0,209	1,200	24,0	39,11	0,469
1,100	13,0	20,01	0,220				

(58) *Densités à 15° des solutions d'acide tartrique donnant leur richesse en acide* (Gerlach).

Densités	$C^4H^6O^6$ %	Densités	$C^4H^6O^6$ %	Densités	$C^4H^6O^6$ %
1,0090	2	1,1072	22	1,2198	42
1,0179	4	1,1175	24	1.2317	44
1,0273	6	1,1282	26	1,2441	46
1 0371	8	1,1393	28	1.2568	48
1,0469	10	1,1505	30	1,2696	50
1,0565	12	1,1615	32	1,2828	52
1,0661	14	1,1726	34	1,2961	54
1,0761	16	1,1840	36	1,3093	56
1,0865	18	1.1959	38	1,3220	(saturé) 57,9
1,0969	20	1,2078	40		

(1) Extrait de la *Zeit. f. angew. chem.* 1891, p.135, rectifiant la table de Kolb.

(59) *Densités à 15° de l'acide azotique* (J. Kolb).

Degré Baumé	Densités	AzO^3H %	Az^2O^5 %	Degré Baumé	Densités	AzO^3H %	Az^2O^5 %
1	1,007	1,5	1,3	27	1,231	37,0	31,7
2	014	2,6	2,2	28	242	38,6	33,1
3	022	4,0	3,4	29	252	40,2	34,5
4	029	5,1	4,4	30	261	41,5	35,6
5	036	6,3	5,4	31	275	43,5	37,3
6	044	7,6	6,5	32	286	45,0	38,6
7	052	9,0	7,7	33	298	47,1	40,4
8	060	10,2	8,7	34	309	48,6	41,7
9	067	11,4	9.8	35	321	50,7	43,5
10	075	12,7	10,9	36	334	52,9	45,3
11	083	14,0	12,0	37	346	55,0	47,1
12	091	15,3	13,1	38	359	57,3	49,1
13	100	16,8	14,4	39	372	59,6	51,1
14	108	18,0	15,4	40	384	61,7	52,9
15	116	19,4	16,6	41	398	64,5	55,3
16	125	20,8	17,8	42	412	67,5	57,9
17	134	22,2	19,0	43	426	70,6	60,5
18	143	23,6	20,2	44	440	74,4	63,8
19	152	24,9	21,3	45	454	78,4	67,2
20	161	26,3	22,5	46	470	83,0	71,1
21	171	27,8	23.8	47	485	87,1	74,7
22	180	29,2	25,0	48	501	92 6	79,4
23	190	30,7	26,3	49	516	96,0	82,3
24	199	32,1	27.5	49,5	524	98,0	84,0
25	210	33,8	28,9	49,9	530	100,0	85,7
26	221	35,5	30,4				

(60) *Densités des solutions aqueuses d'acide sulfurique à + 15°* (J. Kolb).

Degrés Baumé	Densités	100 parties en poids cont.				1 litre contient en kilogr.			
		SO^3 p. 100	H^2SO^4 p. 100	Acide à 60° Baumé	Acide à 53° Baumé	SO^3	H^2SO^4	Acide à 60° Baumé	Acide à 53° Baumé
0	1,000	0,7	0,9	1,2	1,3	0,007	0,009	0,012	0,013
1	1,007	1,5	1,9	2,4	2,8	0,015	0,019	0,024	0,028
2	1,014	2,3	2,8	3,6	4,2	0,023	0,028	0,036	0,042
3	1,022	3,1	3,8	4,9	5,7	0,032	0,039	0,050	0,058
4	1,029	3,9	4,8	6,1	7,2	0,040	0,049	0,063	0,074
5	1,037	4,7	5,8	7,4	8,7	0,049	0,060	0,077	0,090
6	1,045	5,6	6,8	8.7	10,2	0,059	0,071	0,091	0,107
7	1,052	6,4	7,8	10,0	11,7	0,067	0,082	0,105	0,123
8	1,060	7,2	8,8	11,3	13,1	0,076	0,093	0,120	0,139
9	1,067	8,0	9,8	12,6	14.6	0,085	0,105	0,134	0,156
10	1,075	8,8	10,8	13,8	16,1	0,095	0,116	0,148	0,173
11	1,083	9,7	11,9	15,2	17,8	0,105	0,129	0,165	0,193
12	1,091	10,6	13,0	16,7	19,4	0.116	0,142	0,182	0,211

Degrés Baumé	Densités	100 parties en poids cont.				1 litre contient en kilog.			
		SO^3 p. 100	H^2SO^4 p. 100	Acide à 60° Baumé	Acide à 53° Baumé	SO^3	H^2SO^4	Acide à 60° Baumé	Acide à 53° Baumé
13	1,100	11,5	14,1	18,1	21,0	0,126	0,155	0,199	0,231
14	1,108	12,4	15.2	19,5	22,7	0,137	0,168	0,216	0,251
15	1,116	13,2	16,2	20,7	24,2	0,147	0,181	0,231	0,270
16	1,125	14,1	17,3	22,2	25,8	0,159	0,195	0,250	0,290
17	1,134	15,1	18,5	23,7	27,6	0,172	0,210	0,269	0,313
18	1,142	16,0	19,6	25,1	29,2	0,183	0,224	0,287	0,333
19	1,152	17,0	20,8	26,6	31,0	0,196	0,233	0,306	0,357
20	1,162	18,0	22,2	28,4	33,1	0,209	0.258	0,330	0,385
21	1,171	19,0	23,3	29,8	34,8	0,222	0,273	0,349	0,407
22	1,180	20,0	24,5	31,4	36,6	0,236	0,289	0,370	0,432
23	1,190	21,1	25,8	33,0	38,5	0,251	0,307	0,393	0,458
24	1,200	22,1	27,1	34,7	40,5	0,265	0,325	0,416	0,486
25	1,210	23,2	28,4	36,4	42,4	0,281	0,344	0,440	0,513
26	1,220	24,2	29,6	37,9	44,2	0,295	0,361	0,463	0,539
27	1,231	25,3	31,0	39,7	46,3	0,311	0,382	0,489	0,570
28	1,241	26,3	32,2	41,2	48,1	0,326	0,400	0,511	0,597
29	1,252	27,3	33,4	42,8	49,9	0,342	0,418	0,536	0,625
30	1,263	28,3	34,7	44,4	51,8	0,357	0,438	0,561	0,654
31	1,274	29,4	36,0	46,1	53,7	0,374	0,459	0,587	0,684
32	1,285	30,5	37,4	47,9	55,8	0,392	0,481	0,616	0,717
33	1,297	31,7	38,8	49,7	57,9	0,411	0,503	0,645	0,751
34	1,308	32,8	40,2	51,1	60,0	0,429	0,526	0,674	0,785
35	1,320	33,8	41,6	53,3	62,1	0,447	0,549	0.704	0,820
36	1,332	35,1	43,0	55,1	64,2	0,468	0,573	0,734	0,856
37	1,345	36,2	44,4	56,9	66,3	0.487	0,597	0,765	0,892
38	1,357	37,2	45,5	58,3	67,9	0,505	0,617	0,791	0,921
39	1,370	38,3	46,9	60,0	70,0	0,525	0,642	0,822	0 959
40	1,383	39,5	48,3	61,9	72,1	0,546	0,668	0,856	0,997
41	1.397	40,7	49,8	63,8	74,3	0,569	0,696	0,891	1,038
42	1,410	41,8	51,2	65,6	76,4	0,589	0,722	0,925	1,077
43	1,424	42,9	52,8	67,4	78,5	0,611	0,749	0,960	1,108
44	1,438	44,1	54,0	69,1	80,6	0,634	0,777	0,994	1,159
45	1,453	45,2	55,4	70.9	82,7	0,657	0,805	1,030	1.202
46	1,468	46,4	56,9	72,9	84,9	0,681	0,835	1,070	1,246
47	1,483	47,6	58,3	74,7	87,0	0,706	0,864	1,108	1,290
48	1,498	48,7	59,6	76,3	89,0	0,730	0,893	1,143	1,330
49	1,514	49,8	61,0	78,1	91,0	0,754	0,923	1,182	1,378
50	1,530	51,0	62,5	80,0	93,3	0,780	0,956	1,224	1,427
51	1,540	52,2	64,0	82,0	95,5	0,807	0,990	1,268	1,477
52	1.563	53,5	65,3	83,9	97,8	0,836	1,024	1,311	1,529
53	1,580	54,9	67,0	85,8	100,0	0,867	1,059	1,355	1,580
54	1,597	56,0	68,6	87,8	102,4	0,894	1,095	1,402	1,636
55	1,615	57,1	70,0	89,6	104.5	0,922	1,131	1,447	1,688
56	1,634	58,4	71,6	91,7	106,9	0,954	1,170	1,499	1,747
57	1,652	59,7	73,2	93,7	109,2	0,986	1,210	1,548	1,804
58	1,672	61,0	74,7	95.7	111,5	1,019	1.248	1,599	1,863
59	1,691	62,4	76,4	97,8	114.0	1,055	1,292	1,654	1,928
60	1,711	63,8	78,1	100 0	116,6	1 092	1,336	1,711	1,995
61	1,732	65,2	79,9	102.3	119,2	1,129	1,384	1,772	2,065
62	1,753	66,7	81,7	104,6	121,9	1,169	1,432	1,838	2,137
63	1,774	68,7	84,1	107,7	125,5	1,219	1,492	1,911	2,226
64	1,796	70,6	86,5	110,8	129,1	1,268	1,554	1,990	2,319
65	1,819	73,2	89.7	114,8	133,8	1,332	1,632	2,088	2,434
66	1,842	81,6	100,0	128,0	149,3	1,523	1,842	2,338	2,750

(61) *Densités des solutions alcalines.*

%	AzH^3	KHO	NaHO	%	KHO	NaHO
1	0,9959	1,009	1,012	36	1,361	1,395
2	9915	017	024	37	374	405
3	9873	025	035	38	387	415
4	9831	033	046	39	400	426
5	9790	041	058	40	412	437
6	9740	049	070	41	425	447
7	9709	058	081	42	438	457
8	9670	065	092	43	450	468
9	9631	074	103	44	462	478
10	9593	083	115	45	475	488
11	9556	092	126	46	488	499
12	9520	101	137	47	499	509
13	9484	110	148	48	511	519
14	9449	119	159	49	525	529
15	9414	128	170	50	539	540
16	9380	137	181	51	552	550
17	9347	146	192	52	565	560
18	9314	155	202	53	578	570
19	9283	166	213	54	590	580
20	9251	177	225	55	604	591
21	9221	188	236	56	618	601
22	9191	198	247	57	630	611
23	9162	209	258	58	642	622
24	9133	220	269	59	655	633
25	9106	230	279	60	667	643
26	9078	241	290	61	681	654
27	9052	252	300	62	695	664
28	9026	264	310	63	705	674
29	9001	276	321	64	718	684
30	8976	288	332	65	729	695
31	8953	300	343	66	740	705
32	8929	311	353	67	754	715
33	8907	324	363	68	768	726
34	8885	336	374	69	780	737
35	8864	349	384	70	790	748

Pour avoir les oxydes anhydes, multiplier le poids de KHO par 0,8393 et celui de NaHO par 0,775.

(62) *Densités des laits de chaux.*

Degrés Baumé	Densités	CaO dans 100 k.	CaO dans 100 lit.	Degrés Baumé	Densités	CaO dans 100 k.	CaO dans 100 lit.
10	1,074	10,6	13,3	22	1,180	16,5	24,0
12	1,091	11,6	15,2	24	1,199	17,2	25,3
14	1,107	12,7	17,0	26	1,220	17,8	26,3
16	1,125	13,7	18,9	28	1,241	18,3	27,0
18	1,142	14,7	20,7	30	1,262	18,7	27,7
20	1,161	15.7	22,4				

Analyse des Eaux.

(63) *Hydrotimétrie* (1).

a. Solution de 0 gr. 25 chlorure de calcium fondu pur dans un litre d'eau distillée.

b. Solution de 50 grammes savon blanc de Marseille dans 800 grammes alcool à 90°. On filtre et on ajoute 500 grammes eau distillée.

c. Solution d'oxalate d'ammonium à 1/60.

Mode opératoire. — On ajoute peu à peu la solution *b*, au moyen de la burette hydrotimétrique, à 40 centimètres cubes de la solution *a*, jusqu'à ce qu'il se forme par l'agitation une mousse de 1/2 centimètre de haut durant au moins cinq minutes. On doit avoir employé 23 divisions de la burette, c'est-à-dire que la solution calcique doit marquer 22 degrés hydrométriques. S'il n'en est pas ainsi, on modifie la composition de la liqueur de savon. On détermine de la même façon :

I. Le degré de l'eau à analyser ;

II. Le degré de l'eau additionnée, pour 50 centimètres cubes, de 2 centimètres cubes de la solution d'oxalate d'ammonium et filtrée (l'on opère toujours sur 40 centimètres cubes) ;

III. Le degré de l'eau maintenue à l'ébullition pendant une demi-heure ; on complète le volume primitif, on agite, on filtre et opère sur 40 centimètres cubes ;

IV. 50 centimètres cubes de l'eau de l'opération III sont additionnés de 2 centimètres cubes d'oxalate d'ammonium ; on agite, on laisse reposer un quart d'heure, on filtre et l'on opère sur 40 centimètres cubes.

Calcul. — Le premier chiffre correspond à l'action totale de l'acide carbonique, des sels de chaux et de magnésie. Le second représente celle des sels de magnésie et de l'acide carbonique. Du troisième on retranche trois degrés ; le reste représente les sels de

(1) Extrait de l'*Agenda du Chimiste*, 1877.

magnésie et de chaux autres que le carbonate. Le quatrième représente les sels de magnésie.

Il est facile, d'après cela, et d'après la table suivante, qui donne les quantités de différents corps qui amènent un accroissement de un degré dans le titre hydrotimétrique, de calculer à peu près, en carbonates par exemple, et en sulfates la composition d'une eau. En général, le degré hydrotimétrique exprime à peu près en centigrammes le poids de sels terreux qu'elle contient.

Par suite, le carbonate de chaux est égal à I + IV — III — II; les sels de chaux solubles représentent III — IV — 3°; l'acide carbonique II — IV; enfin les sels de magnésie IV.

Tableau hydrotimétrique.

Valeur en grammes, pour 1 litre d'eau, de 1° des corps suivants :

Chaux	0,0057	Sulfate de magnésium. .	0,0125
Chlorure de calcium. . .	0,0114	Chlorure de sodium. . .	0,0120
Carbonate de calcium . .	0,0103	Sulfate de sodium . . .	0,0146
Sulfate de calcium. . . .	0,014	Acide sulfurique anhydre	0,0082
Magnésie	0,0042	Chlore.	0,0073
Chlorure de magnésium .	0,0090	Savon à 50 °/₀ d'eau . .	0,1061
Carbonate de magnésium.	0,0088	Acide carbonique gazeux	5cc

Pour de plus amples renseignements sur l'hydrotimétrie nous renvoyons le lecteur à l'*Agenda du Chimiste*, édition de 1893 où il trouvera le mode d'analyse complet des eaux potables et d'industrie (1). Le tableau suivant donne les conditions imposées par le comité consultatif d'hygiène.

(64) *Méthode du Comité consultatif d'hygiène.*

Dans le but de rendre comparables les analyses d'eau, le Comité consultatif d'Hygiène de France, chargé des questions d'alimentation des villes en eau potable, prescrit la marche suivante :

1° Evaporer au moins un litre d'eau au bain-marie, chauffer encore quatre heures après dessiccation, peser,

1. Voir aussi le *Guide pratique du chimiste de distillerie*, par E. Guillemin. Paris 1890.

et sur le résidu rechercher les nitrates, dont on mentionnera la présence.

2° Evaporer la même quantité d'eau, chauffer le résidu au rouge sombre et peser : la différence avec le premier nombre est comptée comme *matière organique et produits volatils.* Dans le résidu, doser l'acide sulfurique par poids.

3° Déterminer les quatre degrés hydrotimétriques ; le bulletin portera mention du degré avant et après ébullition, et des éléments calculés comme il est dit.

4° Concentrer à 50 cc. 1 litre d'eau, doser le chlore d'après Mohr et calculer en chlorure de sodium.

5° Faire bouillir pendant juste 10 minutes, 100 cc. d'eau avec 3 cc. de solution à 10 % de bicarbonate de sodium pur et 10 cc. de permanganate titré à 0 gr. 50 par litre (si le rose disparaît, rajouter du permanganate), laisser refroidir, ajouter 2 cc. d'acide sulfurique pur et 5 cc. d'une solution titrée de 20 grammes sulfate ferreux et 10 grammes acide sulfurique pur par litre, et ramener au rose par le permanganate. On recommence ensuite exactement l'essai avec des quantités doubles, et on calculera en oxygène consommé par litre.

6° S'il est possible, l'examen bactériologique.

Pour les villes de plus de 5.000 âmes, le comité désire l'analyse complète de l'eau.

Le Comité fixe les limites suivantes :

	Eau pure	Potable	Suspecte	Mauvaise
Chlore.	< 0,015	< 0,40 (1)	0,050—0,100	> 0,100
Acide sulfurique.	0,002—0,005	0,005—0,030	> 0,300	> 0,050
Mat. organ. en oxygène	< 0,001	< 0,002	0,003—0,004	> 0,004
Matière organ. et produits volatils	< 0,015	< 0,040	0,040—0,070	> 0,100
Degré hydrot. total	5 — 15	15 — 20	> 30	> 100
— ap. ébull.	2 — 5	5 — 12	12 — 18	> 20

(1) Sauf au bord de la mer. < signifie moins de, > plus de.

Tout d'abord nous attirerons l'attention sur l'insuffisance et l'inexactitude des procédés de dosage des matières organiques de l'eau, et principalement sur le

procédé de dosage par le permanganate de potasse titré par l'acide oxalique.

Les *matières organiques* de l'eau se composent d'éléments si divers, que l'on ne peut pas conclure de leur composition par la quantité d'oxygène nécessaire à les détruire. On ne doit pas non plus perdre de vue que MM. Tienmann et Preusse, ont prouvé que l'acide oxalique est le seul corps organique capable d'emprunter au permanganate tout l'oxygène dont il a besoin pour brûler; les autres corps organiques ne lui en empruntent que des quantités variables, l'acide tartrique les 4/5, le saccharose la moitié, l'asparagine 1/9, l'urée pas du tout.

Ce procédé n'a donc de valeur qu'en s'en servant pour comparer une même eau avant et après épuration chimique ou mécanique, et encore! On devra toujours le considérer comme une méthode bien empirique.

Le mieux serait une analyse complète et un examen bactériologique, malheureusement ces procédés sont longs et difficiles, il faut les renvoyer à des spécialistes. En outre si la bactériologie permet de caractériser les microbes que l'on trouve, elle ne permet pas d'assurer qu'on trouve toutes les variétés qui sont dans l'eau d'une même provenance.

De même, il faut se mettre en garde, pour les mêmes raisons sur les valeurs des dosages d'ammoniaque dans les eaux, et contre le terme *d'ammoniaque albuminoïde.* Dans ce dernier dosage, par distillation avec potasse caustique et permanganate, on transforme surtout en ammoniaque non les albumines, mais des amides comme l'urée. La présence de cette dernière ammoniaque ne serait donc pas une preuve de présence des albumines comme son nom l'indique, mais plutôt une indication de fermentation de matières animales, ou de suintements des fosses d'aisance dans les puits.

(65) *Epuration des eaux.*

Les eaux qui renferment du sulfate de chaux au-delà de 0 gr. 10 par litre doivent être épurées, car elles donneraient lieu à de graves dépôts dans les générateurs et sur les tubes des réfrigérants et condenseurs; elles

sont aussi mauvaises pour la cuisson des grains; en dessous de 1 gramme par litre, elles ne nuisent pas sensiblement à la macération ou à la diffusion.

On épure une eau semblable en y ajoutant du carbonate de soude (sel de soude ou cristaux de soude) la réaction se fait suivant la formule :

$$CaSO^4, 2aq + Na^2CO^3, 10aq = CaCO^3 + Na^2SO^4, 10aq + 2 aq.$$

Le dosage se fait par le titrage hydrotimétrique, ou mieux, on titre l'acide sulfurique par le chlorure de baryum sur 50 cc. d'eau préalablement filtrée.

L'opération se fait dans de grands réservoirs ou dans des appareils décanteurs spéciaux avec ou sans filtration.

Les eaux renfermant un excès d'acide carbonique tiennent en solution des carbonates de chaux et de magnésie, leur épuration se fait en saturant cet excès d'acide carbonique par un lait de chaux, ou mieux par l'eau de chaux. La quantité à ajouter est donnée une première fois approximativement par le titrage hydrotimétrique de l'acide carbonique, puis rectifié s'il y a lieu par l'expérience. Le bicarbonate de chaux ne semble pas exister en tant que combinaison, nous ne pouvons donc expliquer la réaction par une formule.

Pour le bicarbonate de magnésie, l'action de la chaux, suivant les quantités en présence, peut s'expliquer par l'une des deux formules suivantes :

$$2(MgCO^3, 3aq) + CaO = MgH^2O^2, MgCO^3, 6aq + CaCO^3$$

ou :

$$2(MgCO^3, 3aq) + 2CaO = 2MgH^2O^2 + 2CaCO^3 + aq.$$

On règlera la quantité de chaux pour que la réaction se passe suivant la première formule, si l'eau ne contient pas de sulfates avec les bicarbonates. Si l'eau est en même temps séléniteuse, on mettra assez de chaux pour former la magnésie hydratée qui, avec le sulfate de chaux, formera sulfate de magnésie et carbonate de chaux.

Pour une eau ne renfermant que du carbonate et du sulfate de chaux, on ajoutera de la soude caustique, au lieu du sel de soude indiqué pour les eaux simplement séléniteuses, NaHO se transforme d'abord en

carbonate Na^2CO^3 qui réagit sur le sulfate ; on complète la précipitation du carbonate de chaux par la chaux s'il y a lieu.

Dans une eau renfermant des chlorures de calcium ou de magnésium, il sera toujours bon de ramener ces chlorures à l'état de chlorure alcalin par la soude caustique ou le carbonate de soude. On se débarrassera alors du sel marin par de fréquentes vidanges de la chaudière, tandis que les chlorures de calcium et de magnésium, se décomposant dans les générateurs, en attaquent les tôles et les mettent hors de service très rapidement.

Une eau bien épurée et décantée doit être neutre au tournesol, ou avoir au plus une alcalinité non dosable.

Si les eaux renfermaient une grande quantité de matières organiques, on les traiterait par le sulfate de fer qui, outre son action antiseptique contre de nombreux microbes, se précipite par la chaux en donnant une gelée abondante de protoxyde de fer qui entraîne avec elles les particules en suspension.

$$FeSO^4, 7aq + CaH^2O^2 = FeH^2O^2 + CaSO^4, 2aq + 5aq.$$

Cette réaction faite, avant filtration ou décantation on enlève le sulfate de chaux restant dissous par le carbonate de soude. Pour cette réaction, ne pas employer les chlorures de fer, ou les saturer immédiatement par le carbonate de soude sans chaux, ce qui est plus onéreux et a l'inconvénient de charger les eaux en sel marin.

(66) *Acidimétrie et Alcalimétrie.*

On appelle *liqueurs normales* celles qui contiennent par litre l'équivalent du corps exprimé en grammes.

Les *liqueurs normales décimes* ou *centimes*, renferment le même équivalent en dissolution dans 10 litres ou 100 litres.

Les *liqueurs arbitraires* sont celles qui donnent directement le poids d'un corps cherché en milligrammes ou centigrammes par litre.

Les plus employées en distillerie sont :

L'acide sulfurique normal à 49 grammes par litre.
La soude caustique normale à 40 »
La potasse caustique normale à 56,1 »

La potasse caustique attaque moins les vases de verre que la soude caustique.

Enfin comme *liqueurs arbitraires :*

L'acide sulfurique à 100 grammes par litre.
L'acide sulfurique à 10 »

La liqueur de potasse équivalant à 100 grammes par litre d'acide sulfurique.

La liqueur de potasse équivalant à 10 grammes par litre d'acide sulfurique.

La meilleure manière de préparer les liqueurs normales est certainement de partir de l'acide oxalique normal ; on dissout 63 grammes d'acide oxalique pur, en petits cristaux, volatil sans résidu, dans l'eau distillée, et on complète un litre à 15°. Il se garde à peu près indéfiniment à l'obscurité, en flacon bien fermé, et on l'emploie comme type pour préparer les liqueurs normales acides, alcalines et celles de permanganate.

On fait ensuite les solutions de potasses ou de soude caustique un peu trop fortes d'après la table (**61**) et on les ramène au titre voulu par addition d'eau après un tirage à l'acide oxalique normal.

Pour préparer les liqueurs sulfuriques, on les prépare également un peu trop fortes à l'aide de la table (**60**) et on les ramène au titre voulu après dosage avec les alcalis préalablement vérifiés.

Pour les détails de ces manipulations, nous renvoyons à l'excellent « *Guide pratique du chimiste de Distillerie*, *de M. E. Guillemin.* »

Les solutions normales sont surtout employées pour avoir la richesse % d'une solution ou d'un corps en centièmes du même corps supposé pur. Ex. :

Pour essayer une soude caustique, on en pèse le 1/10 du poids de son équivalent, soit 4 gr., on dissout dans l'eau pour faire 100 c.c., on prend 10 c. c. avec une pipette, on colore au tournesol ; on verse avec une burette graduée l'acide normal jusqu'à neutralisation, le nombre de dixièmes de centimètres cubes d'acide normal versés donne directement la quantité de soude

pure NaHO pour cent renfermée dans l'échantillon essayé. On pèserait de même :

5,61 grammes de potasse caustique
8,55 — de baryte caustique.
6,91 — de carbonate de potasse
5,3 — de carbonate de soude, etc.

Pour les acides on pèserait :

4,9 grammes d'acide sulfurique
3,646 — d'acide chlorhydrique
6,3 — d'acide azotique, etc.

et l'on titrerait avec la *soude* ou *potasse normale*.

Les liqueurs arbitraires correspondant à 100 ou à 10 grammes d'acide sulfurique par litre servent surtout à contrôler l'acidité des moûts, vins et vinasses que l'on exprime toujours en distillerie en grammes d'acide sulfurique SO^4H^2 par litre. Elles sont aussi employées au titrage des salins. On emploie quelquefois dans le commerce les termes de *Titre pondéral* et *degré alcalimétrique* pour déterminer la richesse des potasses et soudes caustiques ou carbonatées.

Le Titre pondéral correspond à 1 % de potasse anhydre K^2O ou de soude caustique anhydre Na^2O dans l'échantillon ; pour déterminer ce titre on pèse 48 gr., 07 de potasse à essayer ou 31 gr., 63 de soude, on dissout dans la quantité d'eau nécesaire pour faire 500 c. c. et l'on titre sur 50 c. c. avec l'acide sulfurique à 100 gr. par litre. Chaque 1/2 c. c. de la burette correspond à *un degré pondéral de Gay-Lussac.*

Le degré alcalimétrique de Descroisilles s'obtient de même, mais en versant l'acide sulfurique à 100 gr. par litre directement sur 5 gr. de potasse ou 5 grammes de soude préalablement dissous dans un peu d'eau.

Le degré Anglais diffère peu du degré pondéral de Gay-Lussac. La différence provient de ce que l'on a conservé les vieux équivalents de 48 pour K^2O et 32 pour Na^2O au lieu des 1/2 poids moléculaires 47,637 et 31 pour ces oxydes.

Pour les analyses complètes et les tables de concordance de ces différents degrés voir « *Traité d'Analyse chimique appliquée aux Essais Industriels, par Post. Traduction française de Gautier et Kienlen.* »

Dosage des Sucres par liqueur cuivrique

(67) *Méthode volumétrique.*

La méthode est basée sur le fait que cinq molécules de sulfate de cuivre ($CuSO^4 + 5aq$) en solution tartrique alcaline, sont converties en oxydule du cuivre par un molécule de glucose ($C^6H^{12}O^6$), ou de sucre inverti. Sans inversion, le sucre de canne est sans action.

On prépare l'une des liqueurs suivantes :

FORMULE DE PASTEUR

On fait dissoudre séparément :

130	grammes	de soude caustique
80	—	de potasse
105	—	d'acide tartrique
40	—	sulfate de cuivre cristallisé.

On mélange les solutions refroidies et on complète le volume à un litre. (Employer des produits purs).

FORMULE DE BOUSSINGAULT

1° Sulfate de cuivre cristallisé	40 gr.	dissoudre dans 200 cc. d'eau
2° Tartrate neutre de potassium	160 »	dissoudre dans 600 cc. d'eau
Soude caustique sèche. . .	130 »	

Mêler et compléter à un litre les solutions ramenées à 15°, et faire bouillir quelques minutes après la préparation.

Ces liqueurs sont inaltérables à la lumière et ne déposent pas spontanément d'oxydule de cuivre comme la vieille formule de Fehling.

LIQUEUR SUCRÉE TYPE

On pèse 4 gr., 75 de sucre candi bien blanc pulvérisé et sec, on fait dissoudre dans 100 c. c. d'eau distillée acidulée par 5 c. c. d'acide chlorhydrique pur, ou 10 c. c. d'acide sulfurique à 100 gr. par litre, on porte au bain-marie et on maintient pendant 10 minutes à une température supérieure à 95° pour produire l'inversion, on fait refroidir et on complète le volume à 1 litre à 15° C.

10 c. c. de cette liqueur renferment 0 gr. 05 de sucre interverti au glucose, et correspondent à 10 c. c. de liqueur cupropotassique dont elle sert à vérifier le titre.

Pour faire un essai, on prend avec une pipette 10 c. c. de liqueur cuivrique, on étend de 2 à 3 volumes d'eau alcalinisée par un peu de potasse caustique, on porte à l'ébullition et on verse lentement et goutte à goutte à l'aide d'une burette la solution sucrée à titrer, jusqu'à disparition de la couleur bleue en maintenant à l'ébullition.

Juger la couleur sur un fond blanc et non par transparence. Comme l'a prouvé M. Soxhlet, pour avoir des résultats concordants, la solution de glucose ne doit pas renfermer plus de 0,5 % de sucre réducteur.

En nous plaçant dans les conditions habituelles, de solution renfermant de 0,5 à 0,1 pour 100 de sucre réducteur, les volumes de liquide sucrés employés pour 10 c. c. de liqueur de Fehling renferment, en grammes, par litre :

Centimètres cubes	Glucose et lévulose	Diff.	Lactose anhydre	Maltose anhydre	Centimètres cubes	Glucose et lévulose	Diff.	Lactose anhydre	Maltose anhydre
10	5,000	454	6,350	7,500	26	1,923	71	2.442	2,884
11	4,546	379	5,773	6,818	27	1,852	66	2,354	2,778
12	4,167	321	5,292	6,250	28	1,786	62	2,268	2,679
13	3,846	275	4,884	5,770	29	1,724	57	2,189	2,586
14	3,571	237	4,536	5,357	30	1,667	54	2,117	2,500
15	3,334	209	4,233	5,000	31	1,613	50	2,049	2,419
16	3,125	184	3,960	4,687	32	1,563	48	1,984	2,344
17	2,941	163	3,744	4,412	33	1,515	44	1,924	2,272
18	2,778	146	3,528	4,167	34	1,471	42	1,868	2,206
19	2,632	132	3,342	3,947	35	1.429	40	1,814	2,143
20	2,500	119	3,175	3,750	36	1,389	38	1,764	2,083
21	2,381	108	3,024	3,571	37	1,351	35	1,717	2,027
22	2,273	99	2,886	3,409	38	1,316	34	1,671	1,973
23	2,174	91	2,761	3,261	39	1,282	32	1,628	1,923
24	2,083	83	2,643	3,125	40	1,250		1,588	1,875
25	2,000		2,540	3,000					

Pour avoir la valeur en maltose et lactose hydratées, ajouter 1/19e ou multiplier par 100/95 (1).

(1) Table donnée par l'*Agenda du Chimiste*.

(68) *Méthode pondérale de Soxhlet.*

Il importe d'opérer toujours dans les mêmes conditions : On mélange, par exemple, 60 c. c. de liqueur de Fehling (qui n'a pas besoin d'être titrée) et 60 c. c. d'eau. On fait bouillir, on ajoute d'un coup 25 c. c. de solution renfermant *au plus* 1 pour 100 de sucre, et après deux minutes d'ébullition, on filtre dans un entonnoir spécial de la forme des anciens tubes à chlorure de calcium de 12 centimètres de long et 13 millimètres de diamètre, dont la boule est à moitié remplie de fibres d'amiante pas trop molles et rangées aussi transversalement que possible ; le tube est lavé à l'eau bouillante, séché et pesé. On filtre le liquide bouillant, on lave à l'eau bouillante, à l'alcool, à l'alcool absolu, à l'éther. On ajuste le tube sur un appareil à hydrogène, et, quand l'éther est chassé, on chauffe doucement la partie qui renferme l'oxyde de cuivre ; on laisse refroidir, on déplace l'hydrogène par l'air et on pèse. On calcule en s'aidant de la table suivante :

Cu	Glucose	Cu	Glucose
10 mgr.	6,1 mgr.	200 mgr.	102,6 mgr.
20 »	11 »	300 »	156,5 »
30 »	16 »	400 »	212,9 »
50 »	25,9 »	463 »	249,9 »
100 »	50,9 »		

Dosage des Sucres par méthodes optiques.

(69) *Polarimètres et saccharimètres.*

Tous ces instruments venant de bons constructeurs, sont fondés sur la même théorie pour laquelle nous renvoyons aux traités de physique, et à part quelques détails de construction ils ne diffèrent que par leur graduation.

Dans les polarimètres, la graduation est comptée en degrés d'arc, mais avec division centésimale du degré, et non en minutes et secondes.

Dans les saccharimètres, on a voulu obtenir une

graduation donnant directement la richesse en sucre cristallisable. Le zéro de l'instrument correspondant à l'eau ou autre substance inactive, les constructeurs français ont pris pour point 100° la déviation obtenue par une lame de quartz droit de 1 millimètre d'épaisseur, puis ont cherché quel poids de sucre pur on devait dissoudre pour obtenir 100 c. c. d'une solution à 15° qui mise dans un tube de 20 centimètres donne la même déviation que la plaque de quartz.

Les constructeurs allemands, au contraire, ont pris pour base de leur division, une solution sucrée type qui à 17°5 ait la densité exacte de 1.100. Ils ont marqué 100° à l'angle obtenu par la déviation de cette solution dans un tube de 20 cent.

Pour l'analyse du sucre avec les différents instruments, il faut donc peser les poids suivants pour obtenir les 100 cc. de solution que l'on examinera dans le tube de 20 cent., et qui, si l'on opère sur le sucre chimiquement pur, doivent donner le degré 100.

Soleil	16,35
Laurent. Dubosq (nouveaux)	16,20 exactement 16,19
Soleil-Wentske. ou Schmidt-Haensch	26,048

L'arc entre 0 et 100 était ensuite divisé en 100 parties égales ou degrés saccharimétriques, et comme on supposait les déviations proportionnelles à la richesse saccharine de la solution, on admettait :

1° Division Soleil	= 0,1635 gr.	de sucre	dans	100 c.c.
1° » Laurent. . . .	= 0,1619 »	»		»
1° Wentske ou Schmidt . .	= 0,2605 »	»		»

De nombreux saccharimètres portent, en outre, la division Vivien. Pour l'obtenir, M. Vivien faisait diviser l'arc correspondant au quartz, non plus en 100 parties, mais en 162 de sorte que :

1 Division Vivien	= 0,1000 gr. de sucre	dans	100 c.c.
ou 100 »	= 10 grammes	»	»

On espérait, par ces divisions, supprimer l'usage des tables, et lire directement les richesses en sucre rapportées au poids ou au volume.

Il n'en est malheureusement pas ainsi, d'abord la même substance active, le sucre, par exemple, n'a pas

le même pouvoir rotatoire pour les différents rayons du spectre, ce qui explique en partie la différence du poids du saccharimètre Soleil avec le poids de 16,19 et explique les différences observées dans les analyses avec ce même instrument lorsque divers observateurs employaient des teintes différentes.

Pour remédier à cette cause d'erreur, on a adopté presque partout la lumière jaune, ou, lorsqu'on emploie la lumière blanche, un verre jaune ou une plaque de bichromate donne une lumière suffisamment jaune monochromatique et voisine de la raie D du spectre pour que tous les bons instruments concordent, même pour des observateurs différents.

Mais une autre cause d'erreur est que le degré de rotation n'est pas seulement proportionnel à la richesse de la solution. Nous supposons que l'on ne s'occupe que de la lumière de la raie D du spectre. Soient :

d densité d'une substance active,
α la rotation qu'elle imprime au plan de polarisation,
l sa longueur (l'unité est le décimètre).

La rotation pour la même substance supposée réduite à la densité 1 et à l'épaisseur 1, ou pouvoir rotatoire $[\alpha]$ est :

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{ld}.$$

Mais si la substance est en solution dans un liquide inactif tel que l'eau, soient :

P le poids de la substance,
v le volume de la solution,
π le poids de cette dernière,
d sa densité.

La formule précédente devient :

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{l}\frac{v}{\mathrm{P}} = \frac{\alpha}{ld}\frac{\pi}{\mathrm{P}}$$

D'où l'on peut tirer :

$$\mathrm{P} = \frac{\alpha\pi}{ld[\alpha]} = \frac{av}{l[\alpha]}$$

En outre, le pouvoir rotatoire varie pour quelques substances avec la température t.

La table suivante donne les résultats des dernières observations pour les principaux sucres, la concentration est indiquée de plusieurs manières :

$c =$ poids en gr. par 100 c.c. C'est la valeur de P pour $v = 100$,

$p =$ » » 100 gr. de solution ; $p = \frac{c}{d}$;

$q = 100 - p$; c'est le poids de substance *inactive* pour 100 gr. de solution ;

$t =$ température exprimée en degrés centigrades.

(70) *Pouvoir rotatoire pour la raie D des principaux sucres :*

	Temp. de l'observat.	Limites de concentration	Signes	Pouvoirs rotatoires $[\alpha]_D$
Saccharose	20	$p = 0-18$	+	66,5
— . . .		$p = 18-69$	+	$66,386 + 0,015035\ p - 0,0003986\ p^2$
—	15	$c = 0-10$	+	$68,65 - 0,828\ c + 0,115415\ c^2$
— . *alcool*	15	$c = 5$	+	66,7
— . *eau* + 1/4 *mol*. CaO		$c = 10$	+	64,9
— — + 1/2 —		—	+	61,3
— — + 1 —		—	+	46,9
— — + 2 —		—	+	51,8
— — + 1 *mol*. Na^2O		$c = 5$	+	66
Saccharine			+	93,5
Glucose cristallisé, *eau*.	20	$p = 1-100$	+	$47,73 + 0,015534\ p + 0,0003883\ p^2$
— — —	—	$q = 9-92$	+	$53,862 + 0,093194\ q + 0,0003883\ q^2$
— anhydre —	—	$p = 1-100$	+	$52,50 + 0,018796\ p + 0,000517\ p^2$
— — —	—	$q = 17-98$	+	$58,698 - 0,1025\ q + 0,0004271\ q^2$
— de raisin —	15	$c = 2,8$	+	51,78
— de salicine —	—	$c = 2,5$	+	51,80
— d'amyg. (+aq.) —		$c = 2$	+	49,25
Lévulose, *eau* . . .			—	$100 + 0,7\ (t - 15)$
Lactose, *eau* . . .		$c = 0,36$	+	$52,53 + 0,055\ (t - 20)$
Maltose anhydre, *eau*	15-35	$p = 5-35$	+	$140,375 - 0,01837\ p - 0,059\ t$
Galactose, *eau* . . .	10-30	$p = 4,9-35,3$	+	$83,883 + 0,0785\ p - 0,829\ t$

Pouvoir rotatoire pour la raie D des principaux sucres. (Suite.)

	Temp. de l'observat.	Limites de concentration	Signes	Pouvoirs rotatoires $[\alpha]_D$
Mannite			—	0,15
Nitromannite, *alcool*		$c=7,5$	+	40
Quercite	16	$c=1-10$	+	25,03
Salicine	15	$c=1-3$	—	55,17—0,63 *c*
Phlorizine, *alcool*	22,5	$c=1-5$	G	49,4+2,41 *c*
Sucre interverti		$c=17-21$	—	27,9—0,32 *t*
Sorbine (Sorbose)		$p=10$	—	43,4
Arabinose			+	105,1
Raffinose (+ 5 aq.)			+	104
Dextrine			+	223
Inuline			—	34,5

Il a donc fallu, malgré tout, en revenir aux tables, et puisque l'on ne peut se passer de tables, ne serait-il pas plus simple, pour unifier les saccharimètres, d'en revenir tout simplement au degré d'arc avec des tables uniformes? Quoiqu'il en soit, voici, calculée d'après ces formules, la correspondance de ces degrés :

1° français (Laurent, Dubosq). . = 0°,2167 polarimétriques.
1° polarimétrique = 1° d'arc. . = 4°,6150 saccharimétr. français,
1° allemand (Ventske ou Schmidt) = 0°,3455 polarimétriques,
1° saccharimétrique français . . = 0°,620 saccharim. allemands,
1° » allemand. . = 1°,608 saccharim. français.

C'est également en se fondant sur les formules précédentes que l'on a établi les tables suivantes qui donnent des résultats concordants à très peu près. Nous ne donnons que les principales relatives aux dosages des jus de betteraves renvoyant le lecteur aux ouvrages spéciaux pour les tables complètes (1).

(1) *Traité d'analyse des matières sucrées* par Sidersky, et *Instruction à l'usage du polarimètre à pénombre* de Schmidt et Hœnsch.

(71) *Table pour déterminer la richesse en sucre du jus de betteraves et autres liquides sucrés, au moyen du polarimètre à lumière jaune, gradué en degrés d'arc* (FRÈZE).

Degrés lus	Degrés corrigés	Quantités de sucre % rapport. au volume	Poids spécifique de la solution	Quantités de sucre % rapportées au poids	Degrés lus	Degrés corrigés	Quantités de sucre % rapport. au volume	Poids spécifique de la solution	Quantités de sucre % rapportées au poids
8	8,8	6,6	1,0255	6,44	16	17,60	13,20	1,0509	12,56
8,25	9,07	6,8	0263	6,63	16,25	17,87	13,40	0517	12,74
8,50	9,35	7,01	0271	6,83	16,50	18,15	13,61	0524	12,93
8,75	9,62	7,22	0279	7,02	16,75	18,42	13,82	0533	13,12
9	9,90	7,43	0287	7,22	17	18,70	14,03	0541	13.31
9,25	10,17	7,63	0295	7,41	17.25	18,97	14,23	0548	13,49
9,50	10,45	7,84	0303	7,61	17,50	19,25	14,44	0556	13,68
9,75	10,72	8,04	0311	7.80	17,75	19,52	14,64	0564	13,86
10	11,00	8,25	0319	7,99	18	19,80	14,85	0572	14,04
10,25	11,27	8,45	0326	8,18	18,25	20,07	15,05	0580	14,23
10,50	11,55	8,66	0335	8,38	18,50	20,35	15,26	0588	14,41
10,75	11,82	8,87	0343	8,58	18.75	20,62	15,47	0596	14,60
11	12,10	9,08	0351	8,77	19	20,90	15,68	0604	14,79
11,25	12,37	9,28	0358	8,96	19.25	21,17	15,88	0611	14,97
11,50	12,65	9,49	0366	9,15	19,50	21,45	16,09	0619	15,15
11,75	12,92	9,69	0374	9,34	19,75	21,72	16,29	0627	15.33
12	13,20	9,90	0382	9,54	20	22,00	16,50	0635	15,51
12,25	13.47	10,10	0390	9,72	20,25	22,27	16.70	0643	15,69
12,50	13,75	10,31	0398	9,92	20.50	22,55	16.91	0651	15,88
12,75	14,02	10.52	0406	10,11	20.75	22,82	17,12	0660	16.06
13	14,30	10,73	0414	10,30	21	23,10	17,33	0667	16,24
13,25	14,57	10,93	0422	10,49	21.25	23,37	17,53	0674	16,42
13,50	14,85	11,14	0431	10,68	21,50	23.65	17,74	0682	16,61
13,75	15,12	11,34	0438	10,86	21.75	23,92	17,94	0690	16,78
14	15,40	11,55	0445	11,06	22	24,20	18,15	0698	16,97
14,25	15,67	11,75	0453	11,24	22,25	24,47	18,35	0706	17,14
14,50	15,95	11,96	0461	11,43	22,50	24,75	18,56	0714	17,32
14,75	16,22	12,17	0469	11,62	22,75	25,02	18,77	0722	17,51
15	16,50	12,38	0477	11,82	23	25,30	18,98	0729	17.69
15,25	16,77	12,58	0485	11.99	23,25	25,57	19,18	0738	17,86
15,50	17.05	12,79	0493	12,19	23.50	25,85	19,39	0746	18.04
15,75	17,32	12,99	0501	12,37	23,75	26.12	19,59	0753	18.22

Dans cette table le degré corrigé est égal au degré lu $+\frac{1}{10}$ du degré lu. C'est la correction due au sous-acétate de plomb.

(72) *Table donnant la richesse en saccharose pour 100 c.c. de jus de canne, ou autres liquides sucrés, au moyen du saccharimètre Laurent (degrés français), et tenant compte de la variation du pouvoir rotatoire spécifique du saccharose.* (F. DUPONT ET D. SIDERSKY).

SANS SOUS-ACÉTATE DE PLOMB

Degrés lus au saccharimètre	Sucre en volume	DENSITÉ A 15° C																					Degrés lus au saccharimètre
		3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75	8.00	
100	16.1900														15.23	15.20	15.17	15.13	15.09	15.06	15.02	14.98	100
90	14.5680												13.78	13.75	13.72	13.68	13.65	13.62	13.59	13.55	13.52	13.48	90
80	12.9470									12.32	12.30	12.27	12.24	12.21	12.18	12.15	12.12	12.09	12.06	12.03	12.00	11.98	80
70	11.3260							10.84	10.81	10.78	10.76	10.73	10.70	10.68	10.65	10.62	10.60	10.58	10.55	10.52	10.50	10.48	70
60	9.7060					9.33	9.31	9.29	9.27	9.25	9.23	9.21	9.18	9.16	9.14	9.12	9.09	9.07	9.04	9.02	9.00	8.98	60
50	8.0870		7.82	7.80	7.78	7.76	7.74	7.72	7.70	7.68	7.66	7.63	7.61	7.58	7.57	7.55	7.54	7.53	7.52	7.51	7.50	7.48	50
40	6.4680	6.28	6.26	6.24	6.22	6.21	6.20	6.18	6.17	6.16	6.15	6.13	6.12	6.10	6.08	6.06	6.05	6.04	6.02	6.01	6.00	5.98	40
30	4.8500	4.72	4.70	4.69	4.67	4.66	4.65	4.64	4.62	4.61	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.55	4.54	4.54	4.52	4.51	4.50	4.49	30
20	3.2330	3.14	3.13	3.12	3.11	3.11	3.10	3.10	3.09	3.09	3.08	3.07	3.06	3.05	3.05	3.04	3.03	3.02	3.01	3.00	2.99	2.09	20
10	1.6160	1.57	1.56	1.56	1.55	1.55	1.55	1.55	1.56	1.54	1.53	1.53	1.53	1.52	1.52	1.52	1.51	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	10
9	1.4544	1.42	1.42	1.41	1.41	1.40	1.40	1.40	1.40	1.39	1.39	1.39	1.38	1.38	1.28	1.37	1.37	1.36	1.36	1.36	1.36	1.35	9
8	1.2928	1.26	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	8
7	1.1313	1.11	1.11	1.11	1.10	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.05	7
6	0.9697	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0 9	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	6
5	0.8082	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	5
4	0.6466	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	4
3	0.4850	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	3
2	0.3234	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	2
1	0.1619	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	1

Degrés	Sucre	Degrés	Sucre
0.1	0.02	0.6	0.10
0.2	0.03	0.7	0.11
0.3	0.05	0.8	0.13
0.4	0.06	0.9	0.15
0.5	0.08		

(73) *Table de Schmitz destinée à l'analyse des jus et dissolutions sucrées, applicables aux polarimètres Soleil-Scheibler et Schmidt-Hænsch, tenant compte des variations du pouvoir rotatoire du sucre de canne (Sans sous-acétate de plomb). Poids normal 26 gr. 048).*

Degrés lus au polarimètre	DEGRÉS BRIX DE LA SOLUTION 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11.50	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	Degrés lus au polarimètre
80																										80
70																								16.96	16.92	70
60																			14.68	14.65	14.62	14.59	14.56	14.53	14.50	60
50														12.35	12.33	12.30	12.28	12.25	12.23	12.20	12.18	12.15	12.13	12.10	12.08	50
40										9.96	9.94	9.92	9.90	9.88	9.86	9.84	9.82	9.80	9.78	9.76	9.74	9.72	9.70	9.68	9.66	40
30							7.56	7.53	7.50	7.47	7.45	7.44	7.42	7.41	7.39	7.38	7.36	7.35	7.33	7.32	7.30	7.29	7.27	7.26	7.24	30
20				5.09	5.08	5.06	5.04	5.02	5.00	4.98	4.97	4.96	4.95	4.91	4.93	4.92	4.91	4.90	4.89	4.88	4.87	4.86	4.85	4.84	4.83	20
10	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52	2.51	2.50	2.49	2.48	2.48	2.48	2.47	2.45	2.46	2.45	2.45	2.44	2.44	2.43	2.43	2.42	2.42	2.41	10
9	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.23	2.2[illegible]	2.22	2.22	2.21	2.21	2.20	2.20	2.19	2.19	2.18	2.18	2.18	2.17	9
8	2.05	2.05	2.05	2.04	2.03	2.02	2.01	2.01	2.00	1.99	1.99	1.99	1.98	1.99	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.95	1.95	1.94	1.94	1.93	1.93	8
7	1.80	1.80	1.79	1.78	1.78	1.77	1.76	1.75	1.75	1.74	1.74	1.73	1.73	1.73	1.72	1.72	1.72	1.71	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.69	1.69	7
6	1.55	1.54	1.53	1.52	1.52	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.49	1.48	1.48	1.48	1.47	1.47	1.47	1.46	1.46	1.46	1.46	1.45	1.45	1.45	6
5	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.21	1.21	1.21	1.21	5
4	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	4
3	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	3
2	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	2
1	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	1

10es de degrés	Sucre	10es de degrés	Sucre
0.1	0.03	0.6	0.15
0.2	0.05	0.7	0.17
0.3	0.07	0.8	0.20
0.4	0.10	0.9	0.22
0.5	0.12		

Si l'on trouve un nombre qui ne scit pas dans la table (**72**), par exemple : 112°,4 pour un jus de densité 1,07 (ou pratiquement 7°), on opère ainsi :

Pour 100°	15,13
10	1,51
2	0,30
0,4.	0,06
Pour 112,4.	17,00

Pour analyser un jus sucré, on commence par prendre sa densité; s'il est pur ou incolore, on le filtre simplement, et on en remplit un tube saccharimétrique de 20 cent. ; on ramène l'égalité des teintes au saccharimètre. Le degré lu est rapporté à l'une des trois tables précédentes, suivant la graduation de l'instrument, et la colonne de la densité trouvée, donne la richesse en sucre. Mais, le plus souvent, les jus sont colorés ; on en introduit 100 c.c. dans un ballon jaugé à 2 traits, 100 et 110 c.c., après avoir eu soin de rincer ce ballon propre avec du jus, pour éviter toute erreur de l'eau de lavage (1). On agite, ou filtre.

C'est le liquide ainsi filtré que l'on passe au saccharimètre. Le résultat lu est trop faible d'un dixième, à cause du sous-acétate de plomb. On ajoute ce dixième, et on corrige par les tables comme précédemment. Il faut avant s'assurer que la liqueur n'est pas alcaline, les alcalis ou carbonates alcalins diminuant le pouvoir rotatoire du sucre. S'il en était ainsi, on saturerait préalablement par un barbotage d'acide carbonique, les bicarbonates étant sans action.

Si le jus renferme d'autres sucres que le saccharose, et mêlés à ce dernier, on devra opérer par inversion Clerget, liqueur cuivrique, et fermentation suivant les cas.

(**74**) *Méthode par inversion Clerget.*

Cette méthode, créée par Clerget, en vue de l'analyse des mélasses, part non du volume des jus, mais de la

(1) En principe ajouter le moins possible de sous-acétate de plomb ; pour des jus peu colorés 2 à 3 c.c. sont suffisants, on complète les 110 c.c. avec de l'eau distillée. Pour la préparation du sons-acétate de plomb voir table (**80**).

pesée de la mélasse, comme dans l'analyse commerciale des sucres. Nous la reproduirons rapidement, en faisant remarquer qu'elle peut être également appliquée aux jus et liquides sucrés, à condition que ceux-ci aient une densité voisine de 1,065 (de 6° à 7°), correspondant à peu près à la densité d'une solution de 16 gr. 19 de mélasse dans 100 c.c.

On commence par faire la polarisation directe comme dans l'essai précédent, mais on opère sur 200 c.c. de liquide dans un ballon de 200 — 220 c.c.; on prélève sur le liquide filtré 100 c.c. dans un ballon de 100 — 110 c.c., et l'on y ajoute 10 c.c. d'acide chlorhydrique pur et fumant: on agite, on porte au bain-marie à double-fond, et on chauffe en réglant la flamme pour obtenir la température + 68° dans le liquide du ballon en 10 à 12 minutes; lorsque le thermomètre marque 68° on enlève le ballon, et on fait refroidir lentement pour le ramener, en une heure environ, à la température de la pièce. On décante, on filtre, et, si le liquide est coloré, on ajoute une pincée de noir animal fin et bien sec; on agite à plusieurs reprises, on filtre, et on passe au saccharimètre, en notant la température t du liquide au moment de l'observation. Le mieux est de l'avoir ramené à la température ambiante.

On calcule ensuite la richesse du cristallisable par la formule de Clerget :

$$R = S \times \left(\frac{100}{144 - 0{,}5\,t}\right)$$

Dans cette formule, S = la somme des polarisations à droite et à gauche, et t la température au moment d'observation.

Des tables, supprimant ce calcul, avaient été dressées par Clerget, pour le saccharimètre Soleil; chaque contructeur en fournit d'ailleurs calculées pour l'instrument livré; nous nous bornerons donc à donner la table suivante, qui fournit les valeurs de $\frac{100}{144 - 0{,}5\,t}$ aux différentes températures.

(75) *Table de Casamajor pour le calcul de la formule de Clerget* (1).

Température en degrés C	Valeur de $\frac{100}{144 - 0.5\ t^o}$	Température en degrés C	Valeur de $\frac{100}{144 - 0.5\ t^o}$	Température en degrés C	Valeur de $\frac{100}{144 - 0.5\ t^o}$
10	0.719	21	0.749	32	0.780
11	0.722	22	0.752	33	0.784
12	0 724	23	0.754	34	0.787
13	0.727	24	0.757	35	0.790
14	0.730	25	0.760	36	0.793
15	0.732	26	0.763	37	0.796
16	0.735	27	0.766	38	0.800
17	0.738	28	0.768	39	0.803
18	0.740	29	0.771	40	0.806
19	0.743	30	0.774	41	0.810
20	0.746	31	0.777		

Exemple : Si l'on a opéré par pesée directe d'un poids de mélasse, et qu'on ait trouvé 42°7 saccharimétriques français comme polarisation directe; 10°8 comme polarisation inverse, on comptera comme suit : à cause du sous-acétate de plomb, 42°7 + 4°27 = 46°97, polarisation directe corrigée. Pour le sucre inverti, pour la première addition de 1/10 de sous acétate de plomb, on ajoutera 10,8 + 1,08 = 11,88, et, comme à ce moment, on a encore additionné 1/10 d'acide chlorhydrique, la déviation réelle à gauche est 11,88 + 1,19 = 13,07 : la somme des déviations S = 46,97 + 13,07 = 60,04. Si, au moment de l'observation du sucre inverti, la température était 18°C, nous aurons, d'après la table ci-dessus :

$$R = S \times 0{,}740 = 60{,}04 \times 0{,}740 = 44{,}43$$

Si, au lieu d'opérer par pesée, nous avions opéré sur un liquide sucré, de densité 1,07 par exemple, la table (72) nous donnera la richesse de 6 gr. 7 de cristallisable pour 100 c.c. Cette méthode est, quoiqu'offi-

(1) *Chemical News*, 11-129.

cielle, basée sur de nombreux tâtonnements; pour obtenir des résultats concordants, il faut suivre régulièrement les prescriptions de Clerget, si empiriques qu'elles paraissent, et telles que nous les avons résumées brièvement. La différence entre les deux chiffres de polarisation directe, et polarisation Clerget, donne les matières dextrogyres.

Dans l'exemple précédent, 46,97 — 44,43 = 2,54 représente la déviation en degrés français due aux matières dextrogyres. Si au contraire la polarisation Clerget donnait un chiffre plus élevé que la polarisation directe, on aurait affaire à des matières levogyres (fréquent dans les mélasses de canne).

Tout récemment, l'administration des contributions indirectes a adopté un mode opératoire pour l'analyse des mélasses de betteraves, qui n'est autre chose que la méthode Clerget, avec application de la *formule Creydt* (1):

$$\text{Sucre} = \frac{(A - B) - 0.493\,A}{0,827}$$

dans laquelle A et B sont les polarisations respectives de la mélasse, avant et après inversion. Cette formule a été établie principalement pour les solutions de sucre renfermant un peu de raffinose, et l'on détermine cette dernière par la formule : $\text{Raffinose} = \frac{A - \text{sucre.}}{1,57}$ Donc, si la différence entre la polarisation directe et le sucre. selon la formule Creydt, est quelque peu élevée ; on la divise par 1,57, et on la porte comme étant due à la raffinose.

(76) *Emploi du polarimètre pour un mélange de différents sucres.*

M. Schmitz a, d'après la formule de Tollens, calculé les valeurs de c = grammes dans 100 c.c. de so-

(1) Voir pour l'emploi complet de ces méthodes : ***Traité d'analyse des matières sucrées***, par Sidersky ; et dans l'***Alcool et le Sucre***, T. I : « Les matières dextrogyres contenues dans les mélasses », du même auteur.



lution; et de p = gr. dans 100 grammes de solution, d'après l'*angle α observé dans un tube de 20 centimètres*, et a établi les formules suivantes pour différents sucres :

Saccharose. $\begin{cases} c = 0{,}75063\,\alpha + 0{,}0000766\,\alpha^2 \\ p = 0{,}74730\,\alpha - 0{,}001723\,\alpha^2 \end{cases}$ approx. $c = 0{,}752\,\alpha$

Glucose anhydre $\begin{cases} c = 0{,}94727\,\alpha + 0{,}0004258\,\alpha^2 \\ p = 0{,}94096\,\alpha + 0{,}0081909\,\alpha^2 \end{cases}$ appr. $c = 0{,}9434\,\alpha$

Il faut faire bouillir les solutions récentes de glucose pendant quelques minutes, et les examiner après refroidissement :

Lévulose. $c = 0{,}500\alpha$ à 15°C. $c = 0{,}518\alpha$ à 20°; $c = 0{,}535\alpha$ à 25° c augmente ou diminue comme la température, de 0,0035 par chaque degré en dessus ou en dessous de 15°.

Lactose: On peut admettre approximativement : $c = 0{,}957\alpha$ à 15°; $c = 0{,}961$ à 20°1

Maltose: Environ $c = 0{,}357\,\alpha$ de 15 à 20°

Sucre interverti: $c = 2{,}134\alpha$ à 15°.

Dextrines: Le pouvoir rotatoire des dextrines variant de + 190 à + 210; c n'a pas été calculé par Schmitz, on peut comme approximation prendre $c = 0{,}23$, mais en contrôlant par d'autres réactions.

Dans les formules précédentes, les valeurs de p ne sont applicables qu'aux solutions d'un sucre pur; s'il y a d'autres matières dissoutes dans la solution, on prend sa densité d, on détermine c, et l'on a $p = \frac{c}{d}$.

La table ci-dessous, calculée pour le sucre de canne, simplifie le calcul des formules :

(77) *Table de Schmitz pour le saccharose.*

α Degrés d'arc	c	Diff. pour 0°,1	p	Diff. pour 0°,1	α Degrés d'arc	c	Diff. pour 0°,1	p	Diff. pour 0°,1
1°	0,751		0,745		26°	19,568		18,265	0,065
2	1,501		1,488	0,074	27	20.323		18.921	
3	2,253		2,226		28	21,078		19.573	
4	3,004		2,961		29	21,833		20.223	0,064
5	3,755		3.693	0,073	30	22,588		20,868	
6	4,507		4.422		31	23,343		21,510	
7	5,259		5,147		32	24,098		22,149	
8	6,010		5,868	0,072	33	24,853		22,784	0,063
9	6,762		6,586		34	25,611		23.416	
10	7,514		7,301		35	26,366		24.044	
11	8,266		8,011	0,071	36	27,122		24,670	0,062
12	9,019		8,719		37	27,878		25,291	
13	9,771	0,075	9,424		38	28,635	0,076	25,909	
14	10,529		10,124	0,070	39	29.392		26,523	0,061
15	11,277		10,821		40	30,148		27,134	
16	12,030		11,516		41	30.905		27.743	
17	12,783		12,206	0,069	42	31,662		28,347	0,060
18	13,536		12,893		43	32,420		28,948	
19	14,290		13,576		44	33,176		29,545	
20	15,044		14,257	0,068	45	33,933		30.139	0,059
21	15.797		14,933		46	34,691		30,729	
22	16,551		15,606		47	35,449		31.317	
23	17,306		16,277	0,067	48	36,207		31,900	
24	18,059		16,943		49	36,966		32.481	0,058
25	18,814		17,605		50	37,724		33,057	

On voit qu'à l'aide des formules précédentes appliquées aux essais saccharimétriques avant et après inversion, en combinant ces essais avec les titrages par liqueur cuivrique, au besoin avec les titrages par fermentation et aux solubilités des divers sucres, table (54), il sera toujours possible d'arriver à établir le nombre d'équations algébriques nécessaires pour la solution et l'étude des mélanges de sucres que l'on rencontre dans les moûts de distillerie, sinon pour les analyses courantes, au moins pour les recherches plus précises [1].

1. Voir à ce sujet : « Analyse d'un mélange de plusieurs sucres pa nr E. Ligier. *Bulletin de l'Association des chimistes de S crerie*, 1890.

Dosage des Sucres par Fermentation.

---

(78) *Par fermentation et dosage de l'alcool.*

Ce procédé, moins précis au point de vue chimique et qui a le défaut d'être un peu long, est le plus pratique, pour donner le rendement des matières premières en alcool.

On préparera les moûts comme nous l'indiquerons dans l'étude de chacune des matières premières alcooligènes, et on les introduira dans un ballon d'une capacité double du volume du moût. Le ballon est fermé par un bouchon à un trou dans lequel on engage un tube recourbé en S à branches égales; dans ce tube un index de mercure empêche les rentrées d'air, tout en permettant le dégagement de l'acide carbonique. Avant de fermer le ballon, on y introduit environ 5 grammes de bonne levure fraîche pressée, sans fécule ou autres matières étrangères, par litre, et quelques gouttes d'huile végétale, on bouche et on porte à l'étuve de fermentation maintenue entre 25° et 28° centigrades. La durée de l'opération est d'environ 48 heures, on s'assure de la fin de l'opération, lorsqu'en pesant 2 fois le ballon à 3 heures d'intervalle, il ne change plus de poids d'une façon sensible. On retire alors le bouchon du ballon, on y introduit quelques fragments de pierre ponce pour éviter les soubresauts, on le relie par un nouveau bouchon et un tube de dégagement à un réfrigérant et on distille jusqu'à recueillir la moitié du volume primitif. On prend le degré du liquide distillé avec l'alcoomètre en tenant compte de la température, (voir *Alcoométrie*), et on calcule l'alcool °/₀ de matières mises en travail.

Pour des essais précis il faut, ainsi que l'indique Pasteur, distiller une seconde fois le liquide recueilli, après l'avoir neutralisé avec 1/4 de son volume d'eau de chaux. On recueille le 1/3 du volume soumis à la seconde distillation et on en détermine le titre alcoolique.

(79) *Par fermentation et pesée de l'acide carbonique.*

Mœrcker opère la pesée de l'acide carbonique par perte de poids du ballon dans l'essai précédent ; nous ne saurions recommander cette méthode à cause des erreurs de pesées inévitables lorsqu'on opère sur des volumes de 2 litres de moût. A part quelques laboratoires de facultés, qui possède des balances de cette force suffisamment sensibles ? Aussi, vaut-il mieux opérer dans de petits ballons analogues à l'appareil de Frésénius pour le dosage de l'acide carbonique dans les calcaires. La figure 2 indique le dispositif adopté. On garnit C avec du chlorure de calcium ou de la ponce sulfurique, le tube T, est bouché par un tube en caoutchouc et une baguette de verre, on peut facilement stériliser l'appareil. Pour faire un essai, on y introduit 20 c. c. du moût préparé d'autre part et dont on connaît la densité, à 25°-28°.

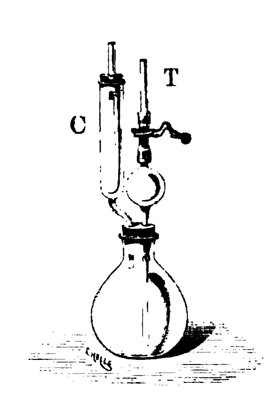


Fig. 2

Quand le dégagement d'acide carbonique à cessé, ce qui exige quelques jours (2 à 3), on met le tube T en communication avec un tube ou une éprouvette à dessécher et garni d'ouate pour filtrer l'air, et on aspire par C pour remplacer l'acide carbonique du flacon par de l'air sec. On pèse de nouveau, et l'on constate une perte de poids p due à l'acide carbonique dégagé. En appliquant la formule de fermentation de Pasteur, on a :

$$\frac{p \times 100}{49{,}42} = \text{saccharose, lactose ou maltose en grammes.}$$

$$\frac{p \times 100}{46{,}9} = \text{glucose, lévulose, sucre inverti} \quad \text{»}$$

$$p = \frac{51,11}{49,42} = p \times 1,031 = \text{alcool en grammes.}$$

$$p = \frac{61,34}{49,42} = p \times 1,30 = \text{alcool en centimètres cubes.}$$

Une légère cause d'erreur peut s'introduire, c'est que la levure dégage par elle-même de l'acide carbonique. Pour les dosages rigoureux on fera une contre-épreuve en opérant la fermentation dans les mêmes conditions, avec les mêmes quantité et qualité de levure, sur une solution sucrée de composition connue. Pour cela on prépare :

Sucre de canne pur.	100 gr.
Acide tartrique	1,5
Eau	500 »

on porte quelques minutes à l'ébullition pour produire l'inversion, on laisse refroidir et l'on ajoute :

Phosphate de potasse	0gr.5
» d'ammoniaque	0, 5
Sulfate de magnésie	0, 25
Peptone.	1 gr.

On complète ensuite le volume à 1 litre, de préférence avec l'eau ordinaire calcaire, mais stérilisée à froid par un filtre Chamberland.

20 c. c. de ce liquide contiennent 2 grammes de sucre et doivent donner après fermentation complète avec une levure pure, une perte de poids de 0 gr. 984 d'acide carbonique. Un essai fait en même temps que l'essai sur le moût permettra de corriger les coefficients ci-dessus.

M. Durin a admis pour rendement de 100 kilogrammes de sucre 60 à 61 litres d'alcool 100°, ce qui porterait le coefficient ci-dessus en moyenne a :

$$p \times \frac{60,5}{49,42} = p \times 1,224 = \text{alcool en centimètres cubes.}$$

C'est en effet ce que l'on obtient à peu près avec les levures du commerce, mais comme ces coefficients sont discutés, le double essai supprime toute contestation.

Dans cet essai, comme dans celui par dosage de l'alcool, on devra s'assurer qu'il ne reste plus de sucre dans les vinasses.

(80) *Recettes diverses.*

Papiers réactifs. — On trempe du papier blanc mince et non collé dans les différentes solutions qui suivent, puis on laisse sécher. — 1° *Curcuma.* On lave avec beaucoup d'eau de la racine de curcuma en poudre, on sèche et on chauffe avec 4 parties d'alcool et 4 parties d'eau ; après quelques heures, on filtre. — 2° *Tournesol.* — On pulvérise le tournesol en pains, on le fait bouillir avec de l'alcool à 85° qu'on jette ensuite, on l'arrose avec 6 à 8 parties d'eau, on chauffe, on filtre, on ajoute 1 partie d'alcool et on conserve dans un flacon fermé par un tampon de coton. A la moitié de cette teinture on ajoute de l'acide sulfurique étendu jusqu'à ce que la coloration soit presque rouge, et on réunit à l'autre moitié pour avoir la teinture sensible ; on y trempe le papier pour l'avoir bleu. Pour le rougir, on le trempe dans une solution très-faible d'acide chlorhydrique et on fait sécher. — 3° *Amidon.* Le papier du commerce collé à l'amidon. — 4° *Fernambouc.* Décoction aqueuse au 1/5 de bois de Fernambouc : jaunit par l'acide fluorhydrique.

Teintures pour titrages alcalimétriques. — 1° *Tournesol* (comme ci-dessus). — 2° *Violet de méthylaniline.* — Solution aqueuse à 1/1000. Vire au bleu-vert par les acides minéraux puissants même en liqueur étendue ; n'est pas changé par les acides organiques. — 3° *Phénolphtaléine.* On en fait une solution au 30° ; on ajoute une goutte de cette solution au liquide d'un titrage acidimétrique. Dès que l'alcali est en excès, le liquide se colore en violet ; les acides même l'acide carbonique en certaine proportion, décolorent la liqueur ; on ne peut l'employer en présence d'ammoniaque. — 4° *Orangé de diméthylaniline,* hélianthine de Poirrier, en solution à 1 gramme par litre d'eau froide : il vire au rouge par les acides minéraux seulement, même par l'acide sulfureux, mais non par les acides organiques, l'acide oxalique compris, ou par l'acide carbonique ou l'hydrogène sulfuré ; on en ajoute 4 gouttes pour 100 cc. de liquide qui doit être faiblement mais nettement coloré : il ne faut jamais l'employer dans des liquides chauds ; il est insensible à

l'action de l'acide carbonique et réussit en présence d'ammoniaque, mais il faut déduire la quantité d'acide nécessaire pour produire le virage en liqueur neutre (environ 3 dixièmes de centimètre cube d'acide décime pour 100 c.c. de liquide et 4 gouttes d'indicateur).

Nota. — A la lumière du sodium, obtenue en plaçant dans la flamme du bec Bunsen du sel marin dans un panier de fil ou toile de platine, le tournesol bleu paraît noir et le rouge est incolore; le virage est net, même pour les liquides colorés en jaune.

La phtaléine du phénol réussit bien avec les acides minéraux et organiques: quand on titre les carbonates, le virage se produit aussitôt que la moitié de l'acide carbonique est déplacée en formant le bicarbonate, si on chauffe ensuite le liquide à l'ébullition, on remarque qu'il faut ajouter un volume d'acide exactement égal à celui qu'on avait employé à froid.

Pour le titrage des carbonates de baryum, de calcium et de magnésium, il vaut mieux opérer à froid avec l'orange de méthyle.

Réactif de Millon. — On dissout une partie de mercure dans 2 parties d'acide nitrique d'une densité de 1,42, à froid d'abord, ensuite en chauffant. Quand la solution est complète, on ajoute au liquide le double de son volume d'eau, on laisse reposer et on décante la portion claire.

Réactif de Nessler. — On dissout 2 grammes d'iodure de potassium dans 5 c.c. d'eau et on ajoute à chaud et par petites portions de l'iodure de mercure tant qu'il veut s'en dissoudre; on laisse refroidir, on ajoute 20 c.c. d'eau, on laisse reposer, on filtre et à 20 c. c. du liquide on ajoute 30 c.c. de lessive préparée avec de la soude exempte de carbonate, fraîchement fondue et dissoute dans peu d'eau; si le liquide se trouble, on filtre. Une trace d'ammoniaque produit un précipité jaune-brun.

Sous-acétate de plomb. — On fait dissoudre 350 grammes d'acétate de plomb neutre cristallisé dans 1 litre d'eau, puis on y fait digérer pendant 8 à 9 heures 120 grammes de litharge en poudre fine et fraîchement calcinée à une température de 60 à 70° en agitant fréquemment. On décante et on filtre.

DEUXIÈME PARTIE

THÉORIE

CHAPITRE PREMIER

L'Alcool et les Matières alcooligènes.

(81) *Historique. — Composition de l'alcool. Ses propriétés chimiques.*

Quoique l'usage des boissons fermentées ait été connu de toute antiquité, et qu'on l'ait retrouvé à l'époque actuelle chez les peuplades sauvages les plus primitives, nous n'avons aucune notion exacte de l'origine de sa distillation, c'est-à-dire de la séparation de l'alcool des boissons fermentées. L'alcool semble connu depuis fort longtemps des peuples orientaux ; la seule chose que nous puissions affirmer d'une façon certaine, c'est qu'il a été introduit en Europe par les Arabes d'Espagne, en même temps que l'algèbre, l'alchimie et la plupart des sciences exactes. Son nom, qui vient de l'arabe *al cohol*, et qui s'est conservé avec son orthographe originelle dans la plupart des langues européennes, ne peut laisser de doute à cet égard. Les auto-da-fé de bibliothèques commencés d'abord par les fanatiques musulmans et continués ensuite par l'inquisition, nous privent de tout renseignement sur les procédés employés alors. L'alchimie retomba à l'état de science occulte, mais, malgré l'empirisme de ses procédés de fabrication, l'alcool lui survécut. Quand nous aurons ajouté que Raymond Lulle découvrit le moyen de le concentrer par distillation sur le carbonate de potasse, que quelques alchimistes inconnus, mais dont la découverte nous est transmise par Lémery, ont appliqué à l'alambic un serpentin ascendant, analogue au serpentin actuel de Schlœsing et qui a servi d'embryon aux rectificateurs actuels, nous aurons terminé l'historique de l'alcool jusqu'à la fin du dix-huitième siècle.

Pendant ce siècle pourtant, l'usage de l'alcool et des liqueurs avait pris une certaine importance, et l'eau

ardente, l'eau-de-vie [1], l'eau de feu, faisaient déjà l'objet d'un commerce important.

A la fin de ce siècle, Th. de Saussure en fit la première analyse, et le trouva formé de gaz oléfiant et d'eau dans la proportion de 100 : 63.58 en poids. Presque en même temps, Lavoisier, balance en main, expliqua que la fermentation n'était autre que le dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique. Gay-Lussac vérifiant les expériences précédentes trouva que la densité des vapeurs d'alcool s'accordait avec la composition trouvée par Saussure et détermina la formule de l'alcool : C^2H^6O ; puis traduisit la découverte de Lavoisier par la formule [2] :

$$C^6H^{12}O^6 = 2CO^2 + 2C^2H^6O$$

Vers la même époque Lowitz et Richter purent déshydrater entièrement l'alcool avec la chaux vive, et, s'appuyant sur ce résultat, Gay-Lussac inventa l'alcoomètre et l'alcoométrie avec une précision telle que c'est encore son système qui est employé aujourd'hui.

Bientôt après, les découvertes de Dumas et Péligot montrèrent que l'alcool n'était pas un corps sans analogues, le nom d'alcools s'étendit à toute une longue classe de produits organiques, et pour éviter toute confusion l'alcool vinique prit le nom chimique d'alcool éthylique.

M. Berthelot fit ensuite la synthèse de l'alcool, en faisant absorber le gaz oléfiant ou éthylène par l'acide sulfurique concentré, il obtint l'acide sulfovinique ou éthylsulfurique :

$$C^2H^4 + SO^4H^2 = SO^4C^2H^5.H.$$

Cet acide, traité par l'eau, puis distillé, reproduit l'alcool.

$$SO^4C^2H^5.H + H^2O = SO^4H^2 + C^2H^5.OH.$$

---

(1) L'eau de vie devrait s'appeler *eau de vigne*, les anciens alchimistes l'appelant *aqua vitis*.

(2) Les formules de Gay-Lussac étaient en vérité écrites en équivalents. Nous les avons transcrites en notation atomique pour éviter toute confusion dans cet ouvrage.



C'est à dessein que nous avons écrit dans ces formules $C^2H^5.OH$ au lieu de la formule plus simple de l'alcool C^2H^6O.

$C^2H^5 = CH^2.CH^3$ est le radical de l'alcool ordinaire, c'est l'éthyle, auquel l'alcool doit son nom d'alcool éthylique. C'est ce groupe C^2H^5, qui, se combinant aux acides forme les éthers, par exemple avec l'acide chlorhydrique :

$$C^2H^5.OH + HCl = C^2H^5Cl + H^2O$$

on obtient l'éther chlorhydrique ou chlorure d'éthyle ; de même en présence d'acide acétique et dans des conditions favorables de température, on obtient l'acétate d'éthyle :

$$C^2H^5.OH + C^2H^4O^2 = C^2H^5.C^2H^3H^2 + H^2O.$$

Quoique l'éthyle n'ait pu être isolé à l'état de liberté son existence n'en est pas moins prouvée, et c'est par les combinaisons de ce radical que nous avons le moyen d'expliquer les combinaisons et les réactions de l'alcool dont quelques-unes sont des plus importantes pour notre industrie. Si l'éthyle n'a pas été isolé, l'hydrure d'éthyle C^2H^6 a été obtenu soit artificiellement, soit isolé des pétroles où il se trouve à l'état naturel ; si, sur cet hydrure d'éthyle, on fait agir le chlore, on obtient encore le chlorure d'éthyle :

$$C^2H^5.H + 2Cl = C^2H^5.Cl + HCl$$

qui traité convenablement par un alcali caustique regènère l'alcool :

$$C^2H^5Cl + NaHO = C^2H^5.HO + NaCl.$$

On voit qu'il y a encore ici production de l'alcool par synthèse, mais, quoique des brevets aient été pris dans ces différents sens, nous abandonnerons maintenant cette source de production d'alcool, source fort intéressante au point de vue scientifique, pour ne nous occuper que de l'alcool obtenu par fermentation.

Depuis Gay-Lussac, peu de perfectionnements, au moins théoriques, avaient été apportés à la fabrication de l'alcool par fermentation, jusqu'aux découvertes de Pasteur. Nous verrons les perfectionnements pratiques

en leur lieu et place respectifs, dans les chapitres suivants.

(82) *Les Sucres*

Nous allons, avant d'aller plus loin, étudier plus en détail les propriétés des divers sucres dont nous avons donné le tableau (**54**) ; quoique quelques-uns d'entre eux ne soient pas à proprement parler des matières premières de l'alcool, puisqu'ils ne fermentent pas, on les trouve en quantité appréciable dans la plupart des végétaux, et ils pourront nous donner de précieuses indications sur quelques produits accessoires des fermentations.

Sucre $C^5H^{10}O^5$. — *Arabinose.* — A été découverte par Scheibler en 1868 dans les mucilages de la betterave à sucre, puis étudiée par Kiliani qui lui a assigné sa vraie formule. Pouvoir rotatoire $[\alpha] = + 105$; possède une saveur sucrée, réduit la liqueur de Fehling, n'est pas fermentescible par la levure de bière. Les acides étendus et bouillants attaquent l'arabinose en donnant des substances ulmiques et une grande quantité de furfurol (15 % du poids de l'arabinose).

Sucre $C^5H^{12}O^5$. — *Arabite.* — Corps neutre, de saveur sucrée, l'arabite est inactive et ne réduit pas la liqueur de Fehling.

Sucres $C^6H^{14}O^6$. — 1° *Mannite.* — Est très répandue dans la végétation, se produit dans la fermentation visqueuse du sucre, du glucose et du miel, et se produit accessoirement dans la transformation de l'amidon en glucose par ébullition avec l'acide sulfurique (Frémy). Pouvoir rotatoire lévogyre négligeable, n'agit pas sur la liqueur cuivrique. Oxydée par le permanganate de potasse, la mannite se transforme intégralement en un mélange d'acides formique, oxalique et tartrique. La mannite est fermentescible par les levures :

$$C^6H^{14}O^6 = 2(C^2H^6O) + 2CO^2 + 2H$$

elle fermente également sous l'action d'autres microbes en produisant : des alcools éthylique et buty-

lique, les acides lactique, butyrique, succinique, acétique et caproïque (Fitz, *Deustch. chem. Gesellsch.* 1877 et 1878).

2° *Dulcite.* — Isomère de la mannite, se rencontre rarement.

3° *Sorbite.* — Isomère de la mannite, se rencontre rarement, ne semble pas fermentescible par la levure de bière.

Sucres $C^6H^{12}O^6$. — *Réduisant la liqueur de Fehling, voir table* (**67**).

1° *Glucose ou dextrose.* — Ses propriétés se trouvent dans les tableaux précédents. Est très répandu dans la nature, en général associé à la lévulose. S'obtient seul par le traitement de l'amidon par l'acide sulfurique, cristallise avec 1 mol. d'eau qu'il perd à 100°. Est directement fermentescible ;

2° *Lévulose.* — Voir ses propriétés dans les tableaux précédents, se rencontre associé au glucose; directement fermentescible.

3° *Sorbine ou sorbose.* — Se rencontre rarement, non fermentescible ;

4° *Galactose.* — S'obtient par hydratation du sucre de lait. Peu important en distillerie.

Sucres $C^6H^{12}O^6$. — *Ne réduisant pas la liqueur de Fehling.*

1° *Inosite.* — A été rencontrée dans les tissus animaux, et dans différentes plantes ou fruits, entre autres dans le raisin. Saveur sucrée, pas de pouvoir rotatoire. Ne fermente pas avec la levure de bière, subit les fermentations lactique, butyrique. Peu étudiée à ce dernier point de vue, ce qui est regrettable à cause de sa présence dans le raisin.

2° *Dambose.* — Retiré du caoutchouc, semble identique au précédent.

Sucres $C^{12}H^{22}O^{11}$. — 1° *Saccharose* ou *sucre de canne.* — Ses propriétés générales se trouvent dans les tables précédentes. Il est indirectement fermentescible par la levure de bière, et ne réduit pas la liqueur

cuivrique. L'action des acides étendus à chaud produit l'inversion suivant la formule :

$$\underbrace{C^{12}H^{22}O^{11}}_{\text{Saccharose}} + \underbrace{H^2O}_{\text{Eau}} = \underbrace{C^6H^{12}O^6}_{\text{Glucose}} + \underbrace{C^6H^{12}O^6}_{\text{Lévulose}}$$

Il réduit alors la liqueur cuivrique et peut fermenter. L'inversion du saccharose se produit sous l'influence de certains ferments azotés ou *sucrases*, sécrétés par les levures, et dont le plus connu est l'*invertine* sécrétée par la levure de bière. D'autres microbes sont capables de le faire fermenter sans inversion et le transforment surtout en acides butyrique, lactique et acétique, ainsi que nous le verrons à l'étude des ferments.

Avec les bases, il forme des sucrates.

2° *Lactose* ou *sucre de lait* $C^{12}H^{22}O^{11}.H^2O$. — Les acides étendus le transforment par inversion en galactose et glucose. Il est directement fermentescible, et de nombreux microbes ont le pouvoir de le transformer, mais pas la levure de bière. Réduit la liqueur de Fehling.

3° *Maltose* $C^{12}H^{22}O^{11}.H^2O$. — Produit par l'action de la diastase sur l'amidon. C'est le sucre le moins réducteur. Il n'agit pas sur l'iode, l'action de l'acide sulfurique à chaud semble le transformer en dextrose. Le maltose est complètement et directement fermentescible par la levure de bière et par de nombreux ferments.

4° *Lévuline* $C^{12}H^{22}O^{11}$. — Existe dans les tubercules des cynantherés, et entre autres dans le topinambour. N'est pas directement fermentescible, inactive au polarimètre, ne réduit la liqueur de Fehling qu'après une longue ébullition.

Les acides étendus l'invertissent en donnant un sucre de pouvoir rotatoire $\alpha = -54°,09$ formé surtout de lévulose. La sucrase ou invertine agit de même mais très lentement.

5° *Tréhalose* ou *mycose* $C^{12}H^{22}O^{11}.H^2O$. — Se rencontre dans le seigle ergoté, dans la *manne tréhala* de Syrie, et quelques champignons. Fermente lentement et difficilement. Soluble dans l'eau et l'alcool

bouillant. Dextrogyre $[\alpha] = 197°,28$. Ne réduit pas la liqueur cuivrique.

SUCRES $C^6H^{12}O^5$. — 1° *Quercite.* — Se rencontre dans les glands, n'est pas fermentescible, ne réduit pas la liqueur de Fehling;

2° *Pinite.* — Peu étudiée, mêmes propriétés.

GLUCOSIDES. — 1° *Amygdaline* $C^{20}H^{27}AzO^{11}$. — A été découverte dans les amandes amères, existe dans les noyaux et pépins de la plupart des fruits. Les acides étendus lui font subir l'inversion suivante :

$$\underbrace{C^{20}H^{27}AzO^{11}}_{\text{Amygdaline}} + 2H^2O = \underbrace{C^7H^6O}_{\text{Hydrure de benzoïle}} + \underbrace{CAzH}_{\text{Acide cyanhydrique}} + \underbrace{2C^6H^{12}O^6}_{\text{Glucose}}$$

Un ferment soluble, *l'émulsine* ou *synaptase* qui existe dans les mêmes amandes de fruits, produit la même inversion. On ne sait pas encore bien si l'hydrure de benzoïle et l'acide prussique sont libres ou combinés, mais leur ensemble donne le parfum du kirsch et des eaux-de-vie de fruits. Quant au glucose spécial ainsi formé, il réduit bien les liqueurs cuivriques, mais ne fermente pas par la levure de bière.

2° *Salycine.* — Provient des saules, peupliers et quelques autres plantes, la synaptase la dédouble en glucose et salygénine.

3° *Coniférine* $C^{16}H^{22}O^8$. — A été trouvée dans les bourgeons de sapin, depuis on l'a trouvée dans les asperges, les tissus de la betterave, le raisin, et on l'a trouvée à côté de la vanilline dans les mélasses de canne et de betterave. Sous l'influence des actions oxydantes, elle se transforme en vanilline ; en présence de l'émulsine, elle se dédouble en glucose et *alcool coniférylique* :

$$C^{16}H^{22}O^8 + H^2O = C^6H^{12}O^6 + C^{10}H^{12}O^3$$

ce dernier produit, par oxydation, reproduit aussi la vanilline en même temps que de l'adéhyde éthylique et de l'acide acétique (Tiemann). C'est à la présence de la coniférine qu'est due l'odeur de vanille des cognacs et rhums.

4° *Populine.* — N'a pas été signalée en distillerie, ses réactions sont analogues aux precédentes.

Matières amylacées.

1° *Dextrines.* — Proviennent d'une transformation incomplète de l'amidon par la chaleur, les acides ou les diastases. Leur formule générale est : $n\,C^6H^{10}O^5$.

Nous ne suivrons pas Maercker dans l'étude des diverses variétés de dextrines et de leurs réactions qui se contredisent suivant les différents auteurs. Leur pouvoir rotatoire et leur pouvoir réducteur sont variables. Pour le point de savoir si les dextrines sont directement fermentescibles, les auteurs nous semblent avoir négligé la question des *levures pures*, et des variétés ou mélanges de *diastases* et de *sucrases*, en tout cas ils ont oublié de nous en informer, ce qui, comme nous le verrons à l'étude des fermentations, ne serait pas sans importance. Nous nous contenterons de constater avec Maercker que l'on arrive à faire fermenter complètement les moûts qui renferment de la dextrine en présence de la diastase. Par l'action de l'acide sulfurique étendu, ou même par l'action de la chaleur en présence de l'eau, les dextrines s'hydratent et se convertissent en glucoses.

On ne saurait résumer l'état actuel de nos connaissances sur les dextrines, sans discuter en même temps l'action sur les diastases, c'est ce que nous ferons plus loin (**112**).

2° *Gomme arabique.* — Les gommes se rencontrent dans les moûts de raisin et de fruits. Elles seraient principalement formées d'acide arabique $C^{12}H^{22}O^{11}$ uni à un peu de chaux, potasse ou magnésie, et se dédoubleraient, en présence des acides dilués, en arabinose et un autre sucre incristallisable (Scheibler), en arabinose et galactose (Kiliani) ;

3° *Amidon.* — Le nom d'*amidon* est plus spécialement réservé aux variétés que l'on trouve dans les céréales, et celui de *fécule* aux variétés extraites des tubercules et des légumineuses. La formule de ces diverses variétés peut se représenter par $n\,C^6H^{10}O^5$, comme la cellulose, qui, d'ailleurs, semble former la

partie extérieure de chaque grain d'amidon, tandis que l'intérieur renfermerait un amidon soluble.

L'amidon traité par l'eau chaude (50° à 75° suivant l'origine), donne de l'empois par rupture des grains : il est bon d'atteindre 75° pour assurer cette rupture, et il n'y a pas à craindre d'aller plus haut, l'empois n'en est que plus fluide. L'empois n'est pas une véritable dissolution, et ne possède pas la propriété de traverser les membranes. L'amidon pur, cuit à l'eau pure, à l'abri des acides, ne donne ni maltose ni dextrose. La réaction caractéristique de l'amidon est la couleur qu'il prend en présence de l'iode. Les acides étendus transforment l'amidon en dextrine et glucose. Musculus avait même avancé que cette transformation se faisait, dans la proportion de 2 : 1 suivant l'équation.

$$3C^6H^{10}O^5 + 2H^2O = C^6H^{12}O^6 + H^2O + 2C^6H^{10}O^5$$

En réalité, ces proportions sont très variables avec la nature de l'amidon, la concentration, la pression et la température, l'acide agissant lui-même sur les dextrines.

Il en est de même pour l'action de la diastase qui transforme l'amidon en maltose et dextrine ; ainsi d'après Sullivan, on aurait les trois réactions suivantes :

Température	Maltose	Dextrine	
63°	67,85 °/.	32,15	$3C^6H^{10}O^5 + H^2O = C^{12}H^{22}O^{11} + C^6H^{10}O^5$
64 à 68°	34,54	65,46	$6C^6H^{10}O^5 + H^2O = C^{12}H^{22}O^{11} + 4C^6H^{10}O^5$
68 à 70°	17,4	82,6	$12C^6H^{10}O^5 + H^2O = C^{12}H^{22}O^{11} + 10C^6H^{10}O^5$

L'amidon sec ne fermente pas directement. A l'état d'empois il ne fermente pas directement par la levure de bière pure, mais, quelques microbes et quelques cryptogames en le transformant en sucre, lui communiquent cette propriété.

A ces différents sucres ou matières alcooligènes, nous devons encore ajouter :

La cellulose qui, par l'action des acides et de quelques microbes, et surtout à l'état d'extrême division, semble subir des transformations analogues à l'amidon et devenir fermentescible. Les acides concentrés la transforment rapidement en glucose.

La *lichénine* $C^6H^{10}O^5$ que l'on rencontre dans les lichens d'Islande et de Suède, et probablement, les gelées que l'on peut extraire de certains *fucus*, est transformable en sucres fermentescibles par les acides dilués, elle semble intermédiaires entre l'amidon et la cellulose dont elle a la composition. La lichénine est employée en Suède pour la distillerie.

La *Saccharine* $C^6H^{10}O^5$, que Péligot trouva par l'action de la chaux sur le sucre inverti ne réduit pas la liqueur cuivrique ; pouvoir rotatoire $[\alpha] = + 93°5$ se rencontre dans les mélasses. Est signalée comme non fermentescible, mais, en réalité, cette propriété est trop peu étudiée.

Le *Dextran* $C^6H^{10}O^5$, extrait par Scheibler du *frai de grenouille* des jus de betterave, ne réduit pas la liqueur cuivrique, $[\alpha] = + 200°$, se transforme en glucose par les acides.

Le *Raffinose* $C^{18}H^{32}O^{16}$. — Se trouve dans les mélasses de raffinerie et de sucraterie. Ne réduit pas la liqueur cuivrique. Son pouvoir rotatoire $[\alpha] = + 105°$ devient par inversion $+ 53°$ et diminue quand la température augmente. Par l'inversion, il réduit aussi la liqueur cuivrique. Fermentescible au moins en partie, et dans certaines conditions.

Inulines — *n* $C^6H^{10}O^5$. — Se rencontrent dans différents tubercules et entre autres dans le topinambour, il semble y en avoir plusieurs variétés.

D'après Kiliani, la formule de l'inuline serait :

$$6\,(C^6H^{10}O^5) + H^2O$$

elle ne se colore pas en bleu par l'iode, est soluble dans l'eau bouillante et lévogyre $[\alpha] = - 36,56$. Les acides étendus la transforment en lévulose ainsi qu'une ébullition prolongée à l'eau.

La diastase de malt ne la transforme pas, mais la pepsine la transforme. Avant inversion, elle ne réduit pas la liqueur cuivrique.

Matières premières de la Fabrication de l'Alcool.

---

(83) *Leur classification.*

Nous rangerons les matières premières en trois classes, savoir :

Première classe. — Matières renfermant un sucre directement fermentescible.

Deuxième classe. — Matières renfermant un sucre qui nécessite l'inversion.

Troisième classe. —Matières renfermant des matières amylacées, et nécessitant une saccharification.

Lorsque les matières renferment ensemble des sucres de ces trois classes, nous les rangeons dans la classe la plus élevée. Par exemple, la patate, qui renferme à la fois le saccharose, le sucre inverti et la fécule, sera rangée dans la troisième classe. Nous prenons les termes de directement fermentescible avec toute sa rigueur théorique de *fermentescible par la levure de bière pure*, ainsi que le terme *inversion* ; sinon, comme par des mélanges de ferments, on peut arriver à faire fermenter directement toutes ces matières (la fermentation directe des jus et mélasses de canne dans les pays tropicaux et la fermentation directe du riz en Chine en sont les exemples journaliers) on arriverait à n'avoir plus qu'une classe, la première.

(84) *Matières premières de la première classe.*

Cette classe comprend à peu près tous les fruits à noyaux ou à pépins tels que: cerises, prunes, poires, pommes, figues, etc., pour ne parler que des fruits d'Europe. Le plus important de tous est, sans contredit, le raisin, qui a été pendant longtemps la seule source d'alcool de l'Europe et qui, encore aujourd'hui, sinon pour la quantité au moins pour la qualité, occupe le premier rang. A ces fruits, il faut ajouter le miel d'abeilles et les jus qui découlent de l'incision de certains palmiers, et de quelques variétés d'agavé. Le jus

retiré du *maguey*, variété d'agavé cultivée au Mexique, fermente en donnant un vin : le *pulque*, qui est la boisson favorite du pays, et y est l'objet d'un commerce considérable, ainsi que le *mezcal*, eau-de-vie que l'on en tire par distillation.

Parmi ces diverses matières premières, quelques-unes renferment en réalité du sucre cristallisable, mais en proportion assez faible pour subir l'inversion sous la seule influence de l'invertine de la levure de bière qui se développe et s'alimente avec les sucres fermentescibles, et arrive à la fermentation complète.

Il nous est difficile de fournir les rendements en alcool de ces différents fruits ; ils varient suivant chaque espèce, dans chaque espèce avec la variété et dans chaque variété avec la maturité, le climat, la saison. Plus un fruit est mûr et riche en sucres, plus il fournit d'alcool, et en général, meilleure est la qualité de ce dernier, en tant qu'eau-de-vie.

(85) *Matières premières de la deuxième classe.*

Dans la deuxième classe, nous rencontrons en première ligne la betterave et la canne à sucre, les tiges de maïs vert et de sorgho, les mélasses, le lait. On peut y ajouter le jus d'érable, les eaux de lavage de la garance, la lichénine, etc., qui, dans certaines contrées peuvent être avantageuses, et enfin le topinambour.

Composition moyenne des betteraves de distillerie.

Eau	83,5
Sucre	10,5
Cellulose et pectose	0,8
Matières protéiques azotées	1,5
Autres matières organiques	2,9
Sels minéraux	0,8

Composition moyenne des cannes à sucre

(MARTINIQUE ET GUADELOUPE)	%
Eau	72,25
Saccharose	16,50
Glucose	0,70
Cellulose	9,50
Cendres	0,40
Autres matières organiques	0,65

Les tableaux ci-dessus donnent une idée de la composition des betteraves et de leur richesse en sucre, dont on peut déduire le rendement en alcool. Les tiges de sorgho et de maïs ont une composition analogue à la canne à sucre, mais moins riches en sucre, et renfermant une plus forte proportion de glucose. Les mélasses de betterave renferment en moyenne :

Eau	19
Saccharose	41
Matières azotées	11
Autres matières organiques	12
Sels minéraux	11
Glucose	traces.

Les mélasses de canne renferment beaucoup moins de sels minéraux et beaucoup plus de glucose, leur composition est très variable suivant l'origine. On peut dire qu'en moyenne elles renferment de 50 à 55 % de tout sucre, tant en cristallisable qu'en glucose, et qu'elles renferment plus de matières azotées que les mélasses de betterave.

L'analyse suivante, de MM. A. Muntz et A. Girard, faite sur des topinambours de la Dordogne, donne à peu près la composition moyenne de ce tubercule en France.

Matières azotées	2,03
Lévulose et inuline	14,27
Matières grasses	0,12
Cellulose	0,88
Matières pectiques, etc.	4,09
Matières minérales	1,43
Eau	77,18
	100,00

Sa composition, à l'exception près de la lévulose et de l'inuline, le rapproche donc considérablement de la pomme de terre.

(86) *Matières premières de la troisième classe.*

Cette classe est certainement la plus nombreuse et mériterait d'être divisée en deux groupes.

1° Le groupe des fruits féculents comme la pomme

	Matières solides			Matières azotéos			Matières grasses			Amidon			Matières non azotées extractibles			Matières non azotées totales			Cellulose			Cendres (moyenne)
	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	
Riz	...	....	86.0	....	....	7.0	....	...	0.8	63.0	89.0	76.0	....	....	....	....	....	....	...	...	1.10	1.
Pommes de terre	18.0	36.0	24.0	1.5	3.0	2.2	0.1	0.3	0.2	10.0	28.0	17.0	0 5	1.5	0.7	14.5	31.5	19.0	0.5	1.5	0.7	1
Orge. . . .	80.1	90.0	84.8	6.0	18.0	10.0	1.0	3.0	2.1	48.5	68.0	54.2	1.7	5 0	3.4	56.7	70.0	63 4	2.2	10.8	4.8	2.
Malt vert germé	48.0	60.0	52.0	6.0	6.5	6.3	....	...	1.5	36.0	42.0	40.0	2.0	3.0	2.5	38.0	15.0	42.5	1.5	7.7	3.2	1.
id. sec sans ger.	90.0	95.8	92.5	8.0	10.0	9.0	....	...	2 4	64.0	70 0	68.0	0.7	3.7	1.7	64.7	73.7	69 7	2.4	11.0	5 0	2.
Maïs frais . .	76.0	82.0	80.0	5.5	13.5	9.0	3.0	6.4	4.6	50.0	60.0	56.0	3.8	6.9	6.2	53.8	66.9	62.2	0.9	7.9	2.8	1.
Maïs vieux . .	84.0	92.0	86.0	6.0	15.5	10.0	3.0	7 0	5.0	55.0	65.5	60.0	4.0	7.5	6.5	59.0	72.5	65.5	1.0	8.5	3.0	1.
Seigle . . .	76.8	91.5	83.6	8.9	17.5	11.5	1.0	3.0	1.7	60.5	72.0	67.5	3.0	8.0	4.9	62.0	73.9	67.9	1.1	3.9	2.0	1.
Blé	80.4	92 0	84.6	8.0	24.0	12.5	1.0	3.0	1.7	55.0	73.0	63.9	3.5	6.0	2.4	60.5	77.4	67.4	1.2	6 4	2.7	1.
Avoine . . .	84 0	92.0	87.0	8.5	18.0	11.7	4.0	7.5	6.0	45.0	62.0	53.0	3.7	4.0	2.1	46.7	66.0	55.1	8.5	16 2	10 8	3.
Dari. . . .	86.2	89.9	87.8	...	....	....	...	...	...	61.2	70.9	63.3	....	....	....	....	....	....	...	....	....	..
Sarrazin. . .	....	...	88.0	...	....	10.3	....	...	2.8	....	....	62.0	....	....	....	55.8	72.4	69.5	1.5	16.4	....	2

de terre, qui ne renferment pas de germe capable de secréter la diastase et de saccharifier eux-mêmes leur fécule.

2° Le groupe des fruits à amidon comme les grains, capables par le développement de leur propres germes de transformer tout leur amidon en sucres fermentescibles.

Mais au point de vue de la pratique de distillerie, au moins dans les pays tempérés, l'application facile du malt ou des acides a supprimé cette distinction. Le tableau ci-contre donne la composition des principaux produits employés en Europe, et dont on peut calculer le rendement en alcool d'après la teneur en amidon.

A ces matières, on peut ajouter, pour les pays chauds, la plupart des tubercules comme le manioc, l'igname, les nombreuses variétés de patates, et les fruits féculents comme les bananes, les fruits du jacquier ou arbre à pain, etc. Dans tous ces fruits, on rencontre non seulement l'amidon, mais aussi des quantités notables de sucres, cristallisable ou inverti. Ce fait, qui existe déjà dans certaines variétés de pommes de terre, se trouve ici beaucoup plus accentué, le sucre arrivant dans certaines variétés de patates, par exemple, à représenter à 25 % de la matière alcoogène ; et, dans les bananes le sucre et l'amidon se trouvant à peu près en parties égales. Il y a donc lieu d'en tenir un compte fort sérieux dans le choix des procédés de saccharification.

A ces matières premières, on pourrait ajouter la plupart des graines de légumineuses ; haricots, pois, lentilles, vesces, etc., et les marrons ou châtaignes, mais ces matières, en temps ordinaire, ont une valeur trop élevée dans l'alimentation, pour que le distillateur les exploite. Ces matières sont moins riches en amidon que les grains, mais renferment plus de matières azotées, ce qui les désigne pour la fabrication des levures.

(87) *Quelques définitions.*
Les alcools commerciaux.

On a souvent classé les alcools commerciaux en alcools naturels et alcools d'industrie. Nous ne saurions

admettre une semblable classification, tous ces alcools étant également naturels et provenant du même phénomène biologique : la fermentation d'un moût sucré. Nous l'admettons d'autant moins que l'on oppose le terme *alcools naturels*, pour faire croire que les alcools d'industrie sont purement artificiels et nuisibles.

On veut charger les alcools d'industrie de tous les méfaits de l'alcoolisme. On oublie qu'aucun alcool d'industrie ne renferme le quart des impuretés de l'eau-de-vie de marc que l'on a rangée dans la classe des alcools naturels Nous n'emploierons donc pas ces termes qui ne tendent qu'à créer d'inutiles confusions.

Tous les alcools commerciaux, qu'ils proviennent du bouilleur de crû, de la distillerie agricole, ou de l'industrie, ont subi une distillation et quelques fois une ou plusieurs rectifications. Nous appellerons *flegmes*, les alcools n'ayant subi que la distillation, *alcools d'industrie* ou simplement *alcools* ceux qui par des rectifications tendent à devenir *neutres*, c'est-à-dire, se rapprochent de l'alcool éthylique pur ou mélangé d'eau.

Parmi les flegmes, quelques uns, grâce à leurs arômes spéciaux et à une bonification par le vieillissement, acquièrent une valeur considérable, qu'une rectification complète leur enlèverait. Nous garderons à ces alcools leurs noms commerciaux. Par exemple :

Eau-de-vie, pour alcool de vins ;

Kirsch, pour eau-de-vie de cerises ;

Tafia, pour flegme de canne ou de mélasse de canne, et *rhum*, pour vieux tafia, etc., etc.

Nous ne disons pas non plus que ces arômes conviennent à tous les consommateurs ; ainsi nous avons vu bien peu d'Européens pouvoir goûter le mezcal mexicain ; et, plus près de nous, la régie du monopole de l'alcool en Suisse a dû rajouter dans quelques uns de ses alcools de l'huile de pomme de terre pour satisfaire le goût des consommateurs de certains cantons !

Nous appellerons *produits de tête* ou *têtes*, l'ensemble des impuretés d'un flegme qui distillent au début de la rectification. Ces produits se nomment aussi *éthers* en industrie parce qu'ils contiennent en effet une notable quantité d'éthers.

Produits de queue, *queues* ou *fusel*, l'ensemble

des impuretés d'un flegme qui distillent à la fin d'une rectification discontinue.

Avant de passer à l'étude de ces différents produits et de leur origine, il nous faut indiquer les moyens de connaître la teneur en alcool des produits commerciaux, et les moyens de reconnaître leurs impuretés.

CHAPITRE II

Alcoométrie. — Analyse de l'alcool.

(**88**) *Alcoométrie actuelle. — Différence entre la richesse alcoolique et la forcé réelle* (1).

La densité de l'alcool est plus faible que celle de l'eau : 0,7947 d'après Gay-Lussac ; 0,7939 d'après Tralles ; 0,7943 d'après les dernières expériences qui ont servi de base aux Régies de France et d'Allemagne.

Les mélanges d'eau et d'alcool ont des densités intermédiaires, et Gay-Lussac s'est fondé sur cette constatation pour établir l'alcoométrie.

Rien ne paraît plus simple à première vue que la constatation du degré d'un alcool, et il semble que cela ne puisse jamais donner lieu à la moindre difficulté : L'opération consiste à plonger un alcoomètre sensible dans le liquide et à lire le degré apparent ; puis on constate la température de l'échantillon, et grâce aux tables officielles de Gay-Lussac adoptées par la Régie, l'on trouve immédiatement la richesse en alcool du liquide examiné.

Un peu de pratique, il est vrai, est nécessaire pour la lecture du degré précis de l'alcoomètre, à cause des phénomènes capillaires ; mais l'éducation n'est pas longue, même pour les personnes les moins instruites.

---

1. Voir dans l'*Alcool et le Sucre*, 2e année, nos 1 et suivants : Questions d'Alcoométrie : *Une réforme qui s'impose*, par E. Barbet. En vente chez E. Bernard et Cie, prix 3 francs.



Pourtant, si usuelles que soient les tables de correction du commerce et de la Régie, il existe bien des distillateurs qui n'en connaissent pas exactement le principe et bien des chimistes qui en font un usage erroné.

Rappelons les principes aussi exactement que possible.

L'alcoomètre centésimal est un aréomètre qui, plongé dans un liquide alcoolique à 15 degrés centigrades, indique exactement du premier coup, et par simple lecture du degré, la quantité d'alcool pur en volume que contient ce liquide.

Il est important de remarquer tout de suite une chose : l'alcoomètre donne le volume centésimal de l'alcool contenu, mais on commettrait une grave erreur si l'on en déduisait par différence le volume de l'eau.

Exemple : Supposons que le liquide alcoolique, pesé à 15°, marque 49°,8. Cela signifie que 100 volumes du liquide contiennent 49 vol. 8 d'alcool absolu. Mais il ne faudrait pas libeller le bulletin d'analyse comme suit :

Alcool °/o	49,8
Eau	50,2
	100,0

Car le mélange contient en réalité :

Alcool °/o	49,8
Eau	53,7
	103,5

L'exemple que nous avons choisi correspond au maximum de contraction. Lorsqu'on mélange 49 lit. 8 d'alcool et 53 lit. 7 d'eau, le volume total se contracte à 100 litres seulement.

L'alcoomètre ne donne pas la proportion relative de l'alcool et de l'eau ; il donne la quantité d'alcool à 100° en volume que l'on pourrait extraire de 100 volumes du liquide anormal et contracté qui est examiné. C'est ce que Gay-Lussac a appelé *la force* d'un liquide alcoolique.

Pourvu que l'expérimentation se fasse toujours sur un liquide à la température de 15 degrés, l'alcoomètre fait aussitôt connaître *la force* de ce liquide.

A défaut d'alcoomètre, on peut prendre la densité du liquide à 15° et par la table (**39**), on aura le chiffre qu'aurait indiqué l'alcoomètre. La prise de la densité, faite exactement suivant les indications (**28**) et avec la même table (**39**), permet la vérification des alcoomètres. Cette vérification doit être faite au moins chaque année pour un instrument étalon, qui sert ensuite à la vérification des instruments de service courant.

Mais il n'est pas toujours commode de ramener l'échantillon alcoolique à peser à la température exacte de 15 degrés.

Pour faciliter l'usage de son alcoomètre centésimal, Gay-Lussac a rédigé une instruction propre à faire connaître le mode de correction qu'il faut apporter aux indications de l'instrument lorsque les liquides spiritueux sont au-dessus ou au-dessous de 15°, et il en a dressé une table que nous reproduisons telle qu'elle a été publiée à son origine [1] Voyez Pl. I.

Dans cette table, en dessous du chiffre donnant la force réelle, se trouve un nombre qui indique le volume qu'occuperaient 1.000 litres de l'alcool expérimenté, si, au lieu de se trouver à la température observée, le liquide se trouvait à 15°.

Voici comment l'on doit se servir de cette table :

Supposons un alcool dans lequel l'alcoomètre marque exactement 97° à une température de 25 degrés. La table nous indique que la *force réelle* du liquide est seulement de 94°,9 c'est-à-dire que si l'observateur avait pris la peine de refroidir son échantillon à 15°, l'alcoomètre aurait indiqué 94°,9 qui est la quantité d'alcool pur que contient en réalité un litre du liquide *une fois ramené* à 15°.

94°,9 correspond à la composition chimique vraie du liquide, composition invariable quelle que soit sa température, car la dilatation ne fait pas changer la proportion relative de l'alcool et de l'eau. C'est cette force réelle que le chimiste peut souvent avoir besoin de connaître d'une façon abstraite et indépendante des volumes d'alcool emmagasinés. Supposons, par exemple,

(1) Consulter à ce sujet l'Encyclopédie Roret, l'*Alcoométrie*, par Malepeyre et A. Petit.

que l'on compare deux rectificateurs pour savoir celui qui fournit le plus haut degré d'alcool ; si les deux échantillons ne sont pas à la même température d'observation, la comparaison vraie ne pourra se faire que grâce à la table des *forces réelles*.

Supposons, au contraire, que le chimiste ait rectifié en laboratoire un vin ou un flegme quelconque, préalablement mesuré, et qu'il veuille savoir la quantité réelle d'alcool que contenait son vin ; admettons qu'il ait obtenu du liquide précédent 500 centimètres cubes, marquant 97° à 25° centigrades.

La force réelle, 94°,9 est celle que l'on eût observée directement si l'on avait refroidi l'échantillon à 15° pour le peser.

Mais si l'on avait opéré ce refroidissement, il se serait produit une contraction de volume ; laquelle ?

Notre table donne, en-dessous du chiffre de la force réelle, le nombre 990. Cela signifie qu'à 15°, un litre de liquide à 25° n'occupera plus qu'un volume réel de 990 cc. Donc le chimiste, au lieu d'avoir 500 cc. de liquide à la force apparente de 97°, n'aurait, par le refroidissement réel à 15°, que 495 centimètres cubes de liquide à 94°,9. Donc, sa rectification lui a fourni en tout :

$$495^{cc} \times 94°9 = 469^{cc},75 \text{ d'alcool pur.}$$

Dans le cas actuel, pour arriver au résultat, l'on est obligé de faire deux corrections successives : d'abord la correction du degré, puis la correction du volume, et l'on multiplie enfin entr'eux les deux nombres corrigés.

Le même calcul serait nécessaire pour évaluer l'alcool pur réellement contenu dans un fût de 500 litres, marquant 97° à 25° de température ; le fût contiendrait 469 lit. 75 d'alcool pur imposable.

Pour abréger ces calculs, l'on a créé une seconde table de corrections, appelée *Table des richesses alcooliques* (pl. II).

Cette table est la seule usitée pour l'établissement des factures ou des comptes de la Régie. Voyons comment elle est constituée, et regardons en particulier le résultat qu'elle nous donnera pour l'exemple précédent.

Nous lisons à l'intersection de la ligne des 97° observés et de la ligne des 25 degrés de température le chiffre 93°,9.

On a coutume de dire que le degré alcoolique corrigé est de 93°,9, et pour savoir la quantité réelle d'alcool pur à 100° contenue dans les 500 litres d'alcool du fût précité, on multiplie directement 93°,9 par le volume 500 litres.

$$93°.9 \times 500 = 469^{\text{lit.}},5$$

au lieu de 469 lit. 75 trouvés tout à l'heure.

Cette différence insignifiante est due à ce que, dans l'établissement d'une table quelconque, on est toujours obligé de négliger une décimale pour ne pas allonger indéfiniment les calculs. Mais on voit combien le problème est plus vite résolu par l'usage de la table des *Richesses alcooliques* que par la première table des *Forces réelles*.

On appelle fréquemment la seconde table: *Table des richesses réelles*. Cette expression est impropre, et c'est à cette faute de terminologie qu'il faut en partie attribuer l'erreur dans laquelle se trouvent bien des industriels. Nous ne saurions trop insister sur ce fait, que tous les degrés de cette table sont *faux;* ce ne sont que des degrés *fictifs;* ou plutôt ce ne sont pas des degrés, ce sont simplement des *coefficients*.

Le véritable *degré alcoolique* d'un liquide ne peut être fourni que par la table des *Forces réelles*.

L'emploi abusif et perpétuel de la Table de la Régie fait commettre tous les jours des erreurs, nous l'avons déjà signalé à diverses reprises. Ce n'est pas à une autre cause qu'il faut attribuer la créance, fortement enracinée dans l'esprit des praticiens, qu'un rectificateur donné ne peut pas atteindre à un degré aussi élevé en été qu'en hiver. Nous ne nous flattons pas de détruire totalement cette légende, tant elle est passée en article de foi ; néanmoins, pour bien en montrer toute la fausseté, il nous suffira d'un exemple.

Considérons un rectificateur qui donne :

En hiver,	de l'alcool marquant	94°,4	à 5°
Au printemps,	— —	96°,5	à 15°
En été	— —	98°,6	à 25°

Si nous consultons la table des forces réelles, nous trouvons uniformément que le degré vrai, si nous ramenions l'alcool à 15° pour le peser, serait de 96°,5.

Si au contraire nous prenons la table de la Régie, la seule que l'on emploie dans les laboratoires, nous trouvons :

94°,4 à 5° = 97°,5 en hiver.
96°,5 à 15° = 96°,5 au printemps.
98°,6 à 25° = 95°,6 en été.

Voilà sur quels documents erronés l'on se base pour dire que le rectificateur donne deux degrés de moins en été qu'en hiver ; voilà également pourquoi certains industriels affirment de très bonne foi qu'ils ont des appareils qui leur produisent du 97° et au-delà. Ces chiffres sont sans valeur. Pour ces sortes de constatations la Table des *Forces réelles* doit seule être employée.

Nous devons en outre faire remarquer que la table des forces réelles que nous publions est celle de Gay-Lussac et se rapporte à la densité de 0,7947 pour l'alcool absolu, alors que l'alcoomètre légal est basé sur la densité de 0,79433.

Cette erreur est négligeable en pratique courante, on peut d'ailleurs la supprimer à l'aide de la table (**39**) qui en regard des densités officielles dressées par le Bureau national des poids et mesures donne les densités de Gay-Lussac.

Il est à regretter que la Régie n'ait pas depuis 1884 publié une table de forces réelles calculée sur ces nouvelles bases, et en complète concordance avec l'alcoomètre légal. Maintenant nous espérons qu'au lieu de se donner cette peine, elle adoptera officiellement l'*alcoométrie pondérale* (1), en remplacement du système ac-

(1) L'adoption de l'alcoométrie pondérale ne serait d'ailleurs que le retour à un ancien usage, car si nous en croyons Duplais aîné (4e édition, 1882, t. II, p. 144) : « La dénomination de *trois-six* « est fort ancienne, et constitue, avec celles de $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{4}{7}$, $\frac{5}{9}$, « $\frac{6}{11}$, $\frac{3}{7}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{3}{9}$, les anciennes dénominations que le Midi employait « jadis pour désigner les esprits à différents titres,... Ces nombres « ne sont pas arbitraires ; *ils désignent en poids et non en vo-*

tuel dont nous allons résumer les inconvénients de tous ordres.

(89) *Inconvénients scientifiques de l'alcoométrie volumétrique* (1).

Ces inconvénients sont nombreux.

La chimie ne doit connaître que les pesées, et pourtant, nous avons toujours en distillerie les analyses nous donnant les teneurs en poids ou en volume par litre et non pour 100 grammes. En physique, toutes les déterminations et calculs de chaleur spécifiques, chaleurs latentes, tensions de vapeurs, solubilité, etc., se déterminent en poids, ce qui ne concorde pas avec le système actuel ; et lorsque dans un prochain chapitre nous voudrons établir la théorie des appareils de distillation, nous serons obligés de transformer tous les litres de liquide alcooliques en kilos, et tous les degrés Gay-Lussac en poids d'alcool pour 100 grammes de liquide. Pour éviter les confusions, chaque fois qu'il s'agira de degré Gay-Lussac, nous remplacerons l'indice ^{o} par un indice ^{v} (volume), et quand nous parlerons de proportions en poids, nous mettrons l'indice ^{p}. Les calculs de calories une fois terminés, nous retransformerons les degrés pondéraux en degrés volumétriques.

Ce n'est évidemment pas commode, et l'on est très exposé à faire des erreurs.

En outre, les mélanges d'alcool et d'eau subissent une contraction, ils sont très dilatables, tandis que les

---

« *lumes*, la quantité d'eau qu'il faut ajouter à chaque liquide « alcoolique afin de donner la *preuve de Hollande*, ou 19° de Cartier.

« Ainsi le $\frac{3}{5}$ est de l'alcool à 29 1/2 degrés qui, mélangé dans la « proportion de 3 parties en poids avec 2 parties d'eau, donne « 5 parties en poids d'eau-de-vie à 19 degrés.

« Le $\frac{3}{6}$ est de l'alcool à 33 degrés, dont 3 parties mélangées à « poids égal avec de l'eau produisent 6 parties d'eau-de-vie au « même degré, c'est-à-dire 19 degrés de Cartier ».

(1) Voir pour plus de détails : *Une réforme qui s'impose*, par E. Barbet.



poids respectifs sont invariables, ce qui fait que nous n'aurions pas en alcoométrie pondérale, la dualité entre les forces réelles et les richesses alcooliques, ainsi que nous l'avons constaté.

(90) *Inconvénients commerciaux.*

Ces inconvénients, quoique provenant de la dernière, cause indiquée, ne sont ni moins graves ni moins nombreux : erreurs usuelles de prise de degré suivant la température, erreurs dues au dépotoir et à l'appréciation du creux de route qui sont souvent causes de difficultés entre acheteur et vendeur et aussi avec la Régie, lors des livraisons ; erreurs dans l'appréciation du volume par les pesées et dans les opérations de mouillage, etc.

Nous renvoyons à l'ouvrage de M. Barbet, pour l'étude complète de cette question qui ne peut trouver sa place ici, et nous n'en garderons que l'étude relative à l'évaluation des volumes par les pesées, et celle du mouillage des alcools.

(91) *Mesure du volume des fûts par pesées.*

Les Allemands déterminent le volume des fûts par des pesées. C'est un système qui a été préconisé depuis longtemps chez nous, sans que ce système ait prévalu.

Il faut avouer, en effet, qu'il comporte aussi ses inconvénients et bien des causes d'erreurs. M. Sourbé [1], qui s'est fait l'apôtre convaincu de cette méthode, et qui a fait une guerre en règle au dépotoir, a cherché à simplifier le procédé par l'établissement de tables et de barêmes. Nous avons essayé de nous en servir, mais il y avait des écarts importants avec les données du dépotoir.

Cela tient à deux causes, à deux erreurs commises par M. Sourbé, ainsi que par les autres personnes qui se sont occupées de la question.

M. Sourbé a fait un barême donnant, pour chaque

(1) « Tables comparatives entre le poids métrique et le volume à toutes les températures des liquides spiritueux », par T. Sourbé, librairie Féret et fils, à Bordeaux.



degré et demi-degré alcoolique, le volume occupé par 1, 2, 3..., 10, 20, 30..., etc., kilogrammes d'alcool. Dès le premier chiffre, nous voyons que 1 000 kilogrammes de liquide à 0° (c'est-à-dire l'eau) sont comptés pour faire 1 000 litres. C'est tout à fait inexact.

1° L'eau à 15° ne pèse que 999 grammes 15, de sorte que 1 000 kilogrammes de liquide font environ 1 001 litres.

Toute la table de Sourbé est rapportée à l'eau au maximum de densité au lieu de l'eau à 15°.

2° M. Sourbé a oublié que tout corps pesé dans l'air perd une partie de son poids égale au poids du volume d'air qu'il déplace. Tous les fûts sont pesés dans l'air; leur poids apparent ne correspond donc pas au poids spécifique des physiciens, lequel est toujours établi pour la pesée dans le vide.

M. Courtonne a établi une table donnant réellement en regard du degré alcoolique le poids apparent du litre, et le volume du kilogramme apparent des liquides Nous la reproduisons ci-après page 142.

En Suisse, la Régie du Monopole se sert de Barêmes qui donnent, après détermination de la *Force réelle* d'un spiritueux, la quantité de litres d'alcool à 100° que représente un poids déterminé du liquide. Ces tables (1) correspondent aussi exactement que possible avec la table de M. Courtonne, tandis que les tables de M. Sourbé donnent un écart sérieux pour les raisons énoncées plus haut.

Prenons un alcool dont la force réelle à 15° soit 90°. La table Courtonne dit que 1 kilo de ce liquide représente 1 lit. 2014 de volume total.

L'alcool absolu à 100° en volume sera :

$$1^{\text{lit.}},2014 \times \frac{90}{100} = 1^{\text{lit.}},08126.$$

Le barême suisse donne du premier coup, en regard

(1) Reduktions-Tabellen zur Bestimmung der wahren Stærke von Spiritus, Berne, Buchdruckerei Stæmpfli, Lack, Scheim et Cie, 1887.



TABLEAU donnant en regard du degré alcoolique le poids apparent du litre et le volume du kilo apparent des liquides, c'est-à-dire les véritables poids et volumes dans les conditions usuelles des pesées dans l'air et à la température moyenne de 15° (Courtonne).

Degré alcoolique	Poids apparent du litre	Volume du kilo	Degré alcoolique	Poids apparent du litre	Volume du kilo	Degré alcoolique	Poids apparent du litre	Volum du kilo
	gr.	cc.		gr.	cc.		gr.	cc.
0	998.08	1001.9	34	958 65	1043.12	68	893.31	1119 5
1	996 52	1003 4	35	957 33	1044.56	69	890.89	1122 4
2	995.03	1005.0	36	955 96	1046.05	70	888.44	1125.5
3	993.60	1006.4	37	954.56	1047.60	71	885.96	1128 7
4	992.21	1007.8	38	953.10	1049.20	72	883.47	1131.9
5	990 85	1009 2	39	951.61	1050.84	73	880.94	1135.1
6	989 53	1010 5	40	950 07	1052.55	74	878.38	1138.4
7	988 24	1011 8	41	948 47	1054.32	75	875 79	1141 8
8	986.99	1013 1	42	946 83	1056.14	76	873.16	1145.2
9	985 78	1014 4	43	945 16	1058.01	77	870.50	1148.7
10	984.61	1015 6	44	943.46	1059.93	78	867 82	1152.3
11	983.46	1016 8	45	941.72	1061.87	79	865 09	1154.8
12	982 33	1017.9	46	939 95	1063.88	80	862 33	1159.6
13	981 23	1019.1	47	938.14	1065.93	81	859.54	1163 4
14	980 15	1020.2	48	936.29	1068.04	82	856.71	1167.2
15	979.09	1021.3	49	934 41	1070.18	83	853.84	1171 1
16	978 04	1022.4	50	932 49	1072.39	84	850.93	1175.1
17	977.01	1023 5	51	930.56	1074.64	85	847.97	1179.2
18	975.99	1024 5	52.	928.53	1076.9	86	844 96	1183.4
19	974.97	1025 6	53	926.50	1079.3	87	841.90	1187.7
20	973.96	1026.7	54	924 43	1021.7	88	838.79	1192.1
21	972 96	1027.7	55	922.33	1084.2	89	835 60	1196.7
22	971.96	1028.8	56	920.22	1086.6	90	832.34	1201.4
23	970.95	1029.9	57	918.10	1089 2	91	829 00	1206.2
24	969 95	1030 9	58	915.97	1091.7	92	825.58	1211 2
25	968.94	1032.0	59	913.82	1094.2	93	822.05	1216 4
26	967.91	1033.15	60	911.65	1096.9	94	818.49	1221.8
27	966.86	1034.27	61	909.44	1099.5	95	814 61	1227 5
28	965.79	1035 41	62	907.21	1102.2	96	810.66	1233.5
29	964.69	1036.59	63	904.96	1105.0	97	806.50	1239 9
30	963.55	1037.82	64	902.68	1107.8	98	802 11	1246.7
31	962 38	1039.08	65	900 38	1110.6	99	797.47	1253.9
32	961 17	1040 39	66	898.06	1113.5	100	792.55	1261 7
33	959.93	1041.73	67	896 70	1116.4			

de la force réelle de 90°, 1 lit. 08091. La différence, 0 lit. 00035 est inappréciable. (¹)

Tandis que la table de M. Sourbé donne :

Volume d'un kilo à 90° (force réelle) = 1 lit., 19817.

$$1^{\text{lit.}},19317 \times \frac{90}{100} = 1^{\text{lit.}},07835.$$

Supposons une pipe de 600 kilos nets d'alcool à 90° ; la table suisse indique pour cette pipe une teneur nette de 648 lit. 6 d'alcool à 100°, tandis que d'après M. Sourbé il n'y aurait que 646 lit. 8, soit environ 2 litres de perte par fût. Les tables de M. Sourbé doivent donc être abandonnées.

(92) *Mouillage et Vinage*

L'eau et l'alcool se mélangent en toutes proportions, mais malheureusement pendant cette opération ils subissent une contraction de volume, qui fait que l'on ne peut calculer, par *une simple règle de proportion*, la quantité d'eau à ajouter à un alcool donné pour le ramener à un degré inférieur déterminé. Il se produit en outre un dégagement de chaleur, et la température des liquides, au moment du mélange, influe sur la contraction. Toutes causes qui rendent le calcul proportionnel seulement approximatif.

Cette difficulté se trouve encore exagérée, lorsqu'au lieu d'eau et d'alcool on a à opérer un mélange de vin et d'alcool dans l'opération du *vinage*. Les matières solides en dissolution dans le vin, et surtout dans les vins liquoreux et sucrés du Midi et d'Espagne, modifient les effets de la contraction. En sorte qu'aucune des tables de contractions, ou aucune des méthodes de calcul proposées jusqu'à ce jour ne résout suffisamment le problème, nous ne les reproduirons donc pas ici

Aussi, dans la plupart des cas, le plus simple est-il d'agir par tâtonnement : on fait le calcul de la quan-

(1) Cette différence des tables suisses et allemandes avec la table de M. Courtonne est due à la légère différence des alcoomètres Tralles et Gay-Lussac.



tité d'eau par une simple règle de proportion, mais on a bien soin « avant d'ajouter les derniers litres de l'eau que l'on a calculé devoir être nécessaire pour le mouil-

Quantité d'eau à ajouter à un alcool de titre donné pour

	98	97	96	95	94	93	92	91	90	85	80
97 . .	1.25	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
96 . .	2.53	1.26	»	»	»	»	»	»	»	»	»
95 . .	3.80	2.51	1.24	»	»	»	»	»	»	»	»
94 . .	5.09	3.79	2.50	1.24	»	»	»	»	»	»	»
93 . .	6.38	5.07	3.77	2.50	1.24	»	»	»	»	»	»
92 . .	7.70	6.38	5.06	3.78	2.50	1.25	»	»	»	»	»
91 . .	9 03	7.69	6.37	5.07	3.78	2.51	1.24	»	»	»	»
90 . .	10.39	9.04	7.70	6.39	4.97	3.80	2.52	1.26	»	»	»
85 . .	17.54	16.11	14.70	13.31	11.94	10.59	9.23	7.89	6.56	»	»
80 . .	25.41	23.93	22.40	20.94	19.49	18.06	16.62	15.20	13.73	6.82	»
75 . .	34.23	32.63	31.03	29.48	27.94	26.28	24.88	23.38	21.87	14.46	7.18
70 . .	44.19	42.69	40.80	39.15	37.40	35.83	34.25	32.61	31.03	23.11	15.33
65 . .	55.59	53.78	51.93	50.20	48.44	46.70	44.95	43 23	41.51	33.00	24.63
60 . .	68.77	66.82	64.88	62.97	61.28	59.20	57.32	55.47	53 61	44.43	35.39
55 . .	84.27	82 16	80.06	78.00	75.94	73.91	71.87	69.86	67.84	57.87	48 04
50 . .	102.71	100.42	98.13	95.88	93.63	91.11	89.18	86.98	84.76	73.87	63.10
45 . .	125.05	122.53	120.03	117.54	115.06	112.61	110.16	107.73	105.30	93.25	81.34
40 . .	152.81	150.01	147.21	144.44	141.69	138.96	136.24	133.51	130.79	117.32	104.00
35 . .	138.17	185.00	181.84	178.72	175.60	172.51	169.41	166.3	163.25	147.99	132 86
30 . .	234.97	231.33	227.90	224.09	220.50	216.93	213 35	209.80	206.25	1[illegible]8.59	171.07
25 . .	300.16	295.85	291.56	287.29	283.03	278.79	274.55	270.33	266.11	245.13	224.28
20 .	397.83	392.53	387.23	381.97	376.71	371.48	366.24	361.03	355.81	329.84	304.02
15 . .	560.57	553.60	546.64	539 72	532.80	525.91	519.01	512.13	505.26	470.99	436.86
10 . .	886.41	876.12	865.84	855.59	845.35	835.13	824.91	814.71	804.51	753.61	702.86

lage, de vérifier soigneusement le degré, de peur de dépasser le point désiré. » (1)

On peut aussi, lorsqu'on n'a affaire qu'à des mélanges d'alcool et d'eau, employer avec avantage *les tables de mouillage*. Nous donnons ci-dessus la table de M. E. Guillemin qui a été établie par des expériences précises, sur des mélanges d'eau et d'alcools purs, et non calculée comme il arrive trop souvent. Cette table tient compte des contractions et c'est la meilleure à notre

(1) Encyclopédie Roret. Alcoométrie.

connaissance ; néanmoins elle a toujours un défaut, c'est de n'être juste que si l'on opère à 15°, température pour laquelle elle a été établie ; or ramener l'alcool et

le ramener à un autre titre donné, d'après E. Guillemin.

75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
7.63	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
16.38	8.15	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
26.44	17.55	8.87	»	»	»	»	»	»	»	»	»
38.31	28.63	19.02	9.49	»	»	»	»	»	»	»	»
52.42	41.80	31.25	20.78	10.35	»	»	»	»	»	»	»
69.52	57.76	46.07	34.46	22.89	11.40	»	»	»	»	»	»
90.76	77.59	64.48	51.45	38.47	25.56	12.74	»	»	»	»	»
117.82	102.84	87.93	73.10	58.31	43.60	28.96	14.43	»	»	»	»
153.64	136.28	118.98	101.76	84.58	67.48	50.47	33.53	16.72	»	»	»
203.53	182.84	162.21	141.67	121.16	100.74	80.40	60.14	40.00	19.95	»	»
278.28	252.61	226.99	201.47	175.98	150.58	125.25	100.01	74.88	49.85	24.91	»
402.82	368.84	334.93	301.10	267.31	233.60	266.64	166.43	133.00	99.67	66.43	33.28
652.19	601.59	551.05	500.60	450.18	399.85	349.60	299.45	249.37	199.42	149.55	99.71

l'eau à la température de 15° est facile au laboratoire, mais impossible au magasin dans bien des cas.

Exemple : Pour ramener un alcool de 80 pour 100 (en vol.) au titre de 40 pour 100, on cherche dans la colonne verticale correspondant à 80 pour 100 le nombre correspondant à la ligne horizontale 40 ; on trouve 104. Donc à 100 vol. d'alcool 80 pour 100, il faut ajouter 104 volumes d'eau pour obtenir de l'alcool à 40 pour 100.

Tous ces inconvénients dus à la contraction dans les

TABLE (1) *pour la conversion des centièmes en poids en centièmes en volume des alcools, ces derniers mesurés à la température de* **12°4 R ou 15°5 C.**

Poids en centièmes	Volume en centièmes	Différence	Poids en centièmes	Volume en centièmes	Différence	Poids en centièmes	Volume en centièmes	Différence
0	0	1.3	34	40.7	1.1	68	75.1	0.9
1	1.3	1.2	35	41.8	1.1	69	76.0	0.9
2	2.5	1.3	36	42.9	1.1	70	76.9	0.8
3	3.8	1.2	37	44.0	1.1	71	77.7	0.9
4	5.0	1.3	38	45.1	1.1	72	78.6	0.9
5	6.3	1.2	39	46.2	1.1	73	79.5	0.9
6	7.5	1.2	40	47.3	1.1	74	80.4	0.8
7	8.7	1.3	41	48.4	1.1	75	81.2	0.9
8	10.0	1.2	42	49.5	1.0	76	82.1	0.8
9	11.2	1.2	43	50.5	1.1	77	82.9	0.9
10	12.4	1.2	44	51.6	1.0	78	83.8	0.8
11	13.6	1.2	45	52.6	1.1	79	84.6	0.8
12	14.8	1.2	46	53.7	1.0	80	85.4	0.8
13	16.0	1.3	47	54.7	1.0	81	86.2	0.8
14	17.3	1.2	48	55.7	1.1	82	87.0	0.8
15	18.5	1.2	49	56.8	1.0	83	87.8	0.8
16	19.7	1.2	50	57.8	1.0	84	88.6	0.8
17	20.9	1.2	51	58.8	1.0	85	89.4	0.8
18	22.1	1.2	52	59.8	1.0	86	90.2	0.8
19	23.3	1.2	53	60.8	1.0	87	91.0	0.7
20	24.5	1.2	54	61.8	1.0	88	91.7	0.8
21	25.7	1.1	55	62.8	1.0	89	92.5	0.7
22	26.8	1.2	56	63.8	1.0	90	93.2	0.8
23	28.0	1.2	57	64.8	0.9	91	94.0	0.7
24	29.2	1.2	58	65.7	1.0	92	94.7	0.7
25	30.4	1.1	59	66.7	0.9	93	95.4	0.7
26	31.5	1.2	60	67.6	1.0	94	96.1	0.7
27	32.7	1.2	61	68.6	1.0	95	96.8	0.6
28	33.9	1.1	62	69.6	0.9	96	97.4	0.7
29	35.0	1.2	63	70.5	0.9	97	98.1	0.7
30	36.2	1.1	64	71.4	0.9	98	98.8	0.6
31	37.3	1.1	65	72.3	1.0	99	99.4	0.6
32	38.4	1.2	66	73.3	0.9	100	100.0	
33	39.6		67	74.2				

(1) ***Poids en centième*** veut dire : Nombre de grammes d'alcool pur pour 100 grammes de mélange. C'est le véritable ***degré pondéral.***

Volume en centième signifie : Nombre de centimètres cubes d'alcool pur pour 100 c.c. du mélange, c'est le ***degré volumétrique*** ou degré G. L. actuel.

opérations du mouillage et du vinage seraient évidemment évités par l'emploi du système pondéral, où, malgré toutes les contractions, le poids de l'eau et de l'alcool ne subissent aucune variation. En attendant que le Gouvernement nous ait doté officiellement de ce système, rien ne nous empêche de l'employer, principalement dans les opérations de mouillage et de vinage où l'alcool et le vin arrivent en fûts qui sont pesés.

Nous pouvons pour cela nous servir de la table précédente de M. Courtonne qui permet de passer du jaugeage au poids, puis de la table ci-contre que nous empruntons à l'*Alcoométrie Roret* et qui, inversement permet de passer du poids au volume. Quoique cette table soit un peu sommaire, la colonne des différences rend facile l'interpolation pour les 1/10 de degré.

Cette table, il est vrai, est établie pour la température de 15°,5 au lieu de 15° ; mais la relation des deux graduations ne peut pas être altérée par le demi-degré d'écart, ainsi que M. Barbet l'a démontré (1).

Exemple : Nous recevons un fût renfermant net 450 kilog. d'eau-de-vie à 55° G.-L. que nous voulons remonter à 60° G.-L. par addition d'alcool à 90° G.-L. Quel poids x de cet alcool devrons-nous y ajouter ?

De la table précédente nous tirons :

$$55^{\circ V} = 47^{\circ P}3 \quad , \quad 60^{\circ V} = 52^{\circ P}2 \quad , \quad 90^{\circ V} = 85^{\circ P}75$$

Nous pouvons alors poser l'équation :

$$(450 \times 47{,}3) + (x \times 85.75) = (450 + x)\ 52^{\circ}2$$

D'où

$$x = 450 \times \frac{(52{,}2 - 47{,}3)}{(85{,}75 - 52{,}2)} = 65^{k},72$$

Dans le cas où l'on aurait à remonter, non plus un simple mélange d'eau et d'alcool, comme dans le cas précédent, mais un vin ou une liqueur, l'opération est la même ; mais il faut multiplier le résultat trouvé par le rapport de la densité apparente d'un mélange d'eau et d'alcool correspondant au degré alcoolique déterminé par l'alambic Salleron, à la densité apparente de la liqueur (2).

(1) Loc. cit. page 39.

(2) Cette multiplication serait évitée si l'on passait au Salleron 100 grammes et non 100 centimètres cubes de liqueur, de façon à avoir directement sa richesse pondérale.

Reprenons l'exemple précédent : Nous recevons un fût pesant net 450 kilogr. de liqueur à 55° G.-L. que nous voulons remonter à 60° G.-L. par addition d'alcool à 90° G.-L. Quel poids y de cet alcool devrons-nous y ajouter ?

Nous trouvons dans la table de M. Courtonne que la densité apparente d'un litre d'alcool à 55° est 922,33. D'autre part, nous pesons exactement un litre de la liqueur à 15° et nous trouvons que son poids apparent est de 998 gr. par exemple. Les rapports des degrés alcoométriques pondéraux et volumétriques étant les mêmes que précédemment, nous aurons :

$$y = 450 \times \frac{(52,2 - 47,3)}{(85,75 - 52,2)} \times \frac{922,33}{998} = 60^{k},74.$$

Ainsi qu'on le voit, par l'emploi de ces tables et un rapide calcul, on peut supprimer tous les tâtonnements, et les pertes de temps qu'ils occasionnent, dans les opérations de vinage et de remontage des eaux-de-vie. Les pesées sont plus rapides et plus exactes que les jaugeages, et on a l'avantage d'opérer à coup sûr. L'adoption du système pondéral par le gouvernement simplifierait encore cette opération en supprimant l'usage des tables de concordance.

Nous extrayons encore de la brochure de M. Barbet les planches III et IV. La première donne les corrections de température à faire subir à un *alcoomètre centésimale pondéral*, c'est à la fois une table de *forces réelles* et de *richesses alcooliques*, qui en poids, se confondent. La seconde (pl. IV), permet l'emploi de l'alcoomètre pondéral pour déterminer le poids d'alcool contenu dans des bacs ou réservoirs que l'on ne peut pas peser à la bascule, mais dont on connait la contenance.

(93) *L'alcoomètre et les alcools dénaturés.*

Tout ce que nous avons dit de l'alcoomètre et des tables de correction ne s'applique qu'aux *mélanges d'eau et d'alcool éthylique purs*. Néanmoins l'alcoomètre n'étant en somme qu'un densimètre peut être employé à déterminer la densité des liquides moins

lourds que l'eau par la table (**39**) qui donne la concordance des degrés de l'alcoomètre avec les densités. Seulement dans ce cas, il faut toujours avoir soin de *ramener le liquide à 15° et ne pas employer les tables de correction* (table de forces réelles ou table de la Régie).

Cette observation s'applique surtout à l'industrie des alcools dénaturés et de l'alcool méthylique. L'alcool méthylique absolu ayant une densité de 0,7995 à 15°, c'est-à-dire marquant un peu plus de 99° à l'alcoomètre, l'emploi de ce dernier a été adopté par l'industrie des méthylènes et aussi par l'Administration des Contributions Indirectes pour la réception des méthylènes admis à la dénaturation ainsi que pour les alcools dénaturés. Cette mesure, qui ramène la prise de densité de de différents liquides à un même instrument étalon, l'alcoomètre, ne peut qu'être approuvée ; malheureusement, on croit trop volontiers que l'usage obligatoire de l'alcoomètre poinçonné par le Bureau des Vérificateurs, entraîne forcément avec lui l'emploi de la *table de la Régie*. C'est cette erreur qui est cause des nombreuses réclamations de négociants en méthylène ou en alcool dénaturé, qui se voient refuser pour la dénaturation, et pour n'être pas au degré, des produits qu'ils garantissent de très bonne foi être à 90°. Seulement, ils ont commis l'erreur inconsciente de faire leurs opérations en faisant des corrections avec la *table de la Régie*, table dont le titre pour ainsi dire *officiel* couvre leur bonne foi et doit les garantir complètement. Nous avons déjà établi plus haut l'erreur due à l'usage abusif de cette table qui ne donne pas la force réelle, mais un degré fictif ; dans le cas présent, l'erreur se trouve augmentée de ce fait que les coefficients de dilatation et de contraction des mélanges d'alcool méthylique et d'eau ne sont nullement les mêmes que ceux des mélanges d'alcool vinique et d'eau. (1) En outre, le méthylène employé à la dénaturation est un mélange complexe d'alcool méthylique, d'acétone et d'eau avec

(1) Ce fait peut facilement être mis en évidence en traduisant en degrés alcoométriques, à l'aide de l'aide de la table (39), les densités des mélanges d'alcool méthylique et d'eau que donne la table (42).



nombreuses autres impuretés, et une table de correction établie pour l'alcool méthylique pur ne serait plus applicable à un semblable mélange.

La même remarque doit être faite, et à plus forte raison, pour l'alcool amylique dont les coefficients s'écartent encore plus de ceux de l'alcool éthylique, ainsi que la densité. Pourtant on emploie l'alcoomètre, aussi bien en distillerie, pour prendre le degré des fusels que dans l'industrie des alcools dénaturés. Dans tous ces cas, nous le répétons, il faut ramener la température du liquide à 15° avant d'y plonger l'alcoomètre, et considérer ses indications comme une simple indication de densité, non pas comme une richesse alcoolique.

(94) *Dosage de l'alcool dans les mélanges complexes.*

Lorsque les mélanges contiennent, outre l'alcool et l'eau, des matières solides en solution ou en suspension comme dans les cas du vin, des liqueurs, des moûts fermentés, les indications de l'alcoomètre plongé dans un semblable liquide seraient absolument fausses. On prend alors leur richesse alcoolique soit à l'aide des ébulliomètres ou ébullioscopes, soit mieux par distillation et en général à l'aide de l'alambic (fig. 3). Nous n'entrerons pas dans les détails de construction et le mode d'emploi de ces divers appareils qui sont d'ailleurs toujours accompagnés d'une instruction fournie par le constructeur. Nous dirons seulement d'une manière générale que, si les ébulliomètres donnent plus rapidement le résultat et peuvent de ce fait être préférés pour les essais commerciaux, ils restent comme précision bien inférieurs à la méthode par distillation, ou méthode de Gay-Lussac, que nous rappelons ici et qui devra toujours être préférée pour des essais sérieux ; à contrôler les résultats des ébulliomètres.

Méthode de Gay-Lussac. — On mesure 200 centimètres cubes de vin, autant que possible rafraîchi à 15° environ (en le plongeant dans l'eau fraîche) ; si les vins sont très alcooliques (plus de 15°), on en mesure 100 centimètres cubes, qu'on mélange avec 100 centimètres cubes d'eau ; on en distille la moitié en conden-

sant la vapeur avec de l'eau très fraîche et renouvelée, en ayant soin d'appuyer l'ouverture de l'éprouvette contre le fond du serpentin, afin d'éviter l'évaporation de l'alcool (il vaut mieux au lieu d'éprouvette employer

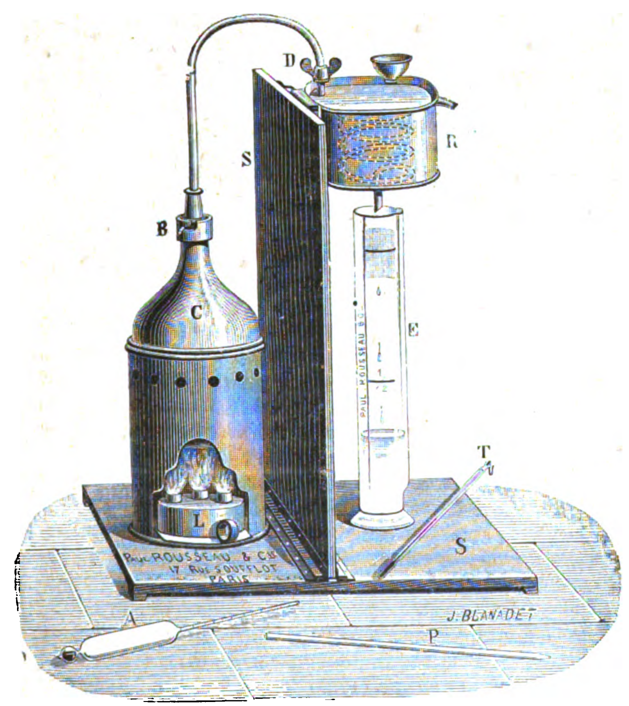


Fig. 3. — Alambic pour l'essai des vins.

des ballons jaugés). Le produit de la distillation est rafraîchi dans l'eau à 15° environ et ramené exactement à 100 centimètres cubes avec de l'eau distillée. On détermine la température avec un thermomètre, qui ne serve qu'à cet usage, essuyé avec un linge propre ; l'alcoomètre doit de même être essuyé avec un linge fin légèrement imprégné d'alcool. On le plonge dans le produit distillé, et on lit au-dessous du ménisque ;

on corrige l'indication de la température d'après la table des richesses alcooliques, et la moitié du chiffre obtenu est la quantité d'alcool pour cent en volume : si l'on n'a pris que 100 centimètres cubes de vin il est inutile de dédoubler le degré.

Il est essentiel de prendre le degré alcoolique à la température où l'on a mesuré le vin.

Les vins acides ou piqués seront saturés par du carbonate de potassium avant la distillation.

Lorsqu'on veut faire un dosage très rigoureux, il est bon de prendre les précautions indiquées par M. Pasteur : qui, distille 200 centimètres cubes en recueillant 100 centimètres cubes qu'il mélange avec 50 c.c. d'eau de chaux et 50 c.c. d'eau distillée ; il redistille ce mélange en recueillant 100 c.c., dont il détermine le titre alcoolique.

(93) *Recherche et dosage de l'alcool dans les liquides très dilués.*

Il se présente deux cas, suivant que l'on a à sa disposition de grands volumes de liquide, ou que cette recherche doit être faite sur des volumes si faibles, que par distillation il serait impossible de recueillir un volume suffisant pour y plonger un alcoomètre du plus petit modèle. On ne doit pas non plus perdre de vue que pour les faibles degrés, et particulièrement entre 0° et 5°, les indications de l'alcoomètre perdent beaucoup de leur précision.

Dans les usines où l'on n'est pas limité par le volume, témoin les dosages d'alcool dans les vinasses ou les eaux résiduaires, le procédé le plus simple est de distiller quelques litres du liquide dans un grand ballon surmonté d'un tube à boules de Le Bel et Henninger, ou mieux dans un petit rectificateur de laboratoire, si l'on a un de ces appareils à sa disposition, et l'on distille jusqu'à ce qu'on ait recueilli le dixième ou le centième du volume du liquide mis en expérience, suivant le cas.

On prend à l'alcoomètre le degré du liquide ainsi récolté qui, divisé par 10 ou par 100, donne la richese al-

coolique cherchée comme dans la méthode de Gay-Lussac.

Le rectificateur de laboratoire dont nous donnons la figure ci-contre, fonctionnant soit comme discontinu, soit comme continu (mais sans extractions sur la colonne), lorsqu'on a de grands volumes de liquide à sa disposition, nous a permis de doser des quantités d'alcool de 0,01 pour 100, l'épuisement étant contrôlé à l'aide du compte-goutte de Duclaux que nous verrons plus loin.

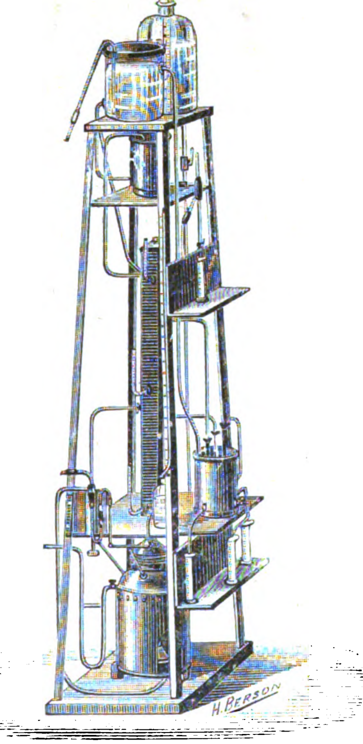


Fig. 4. — Rectificateur de laboratoire, système E. Barbet.

Lorsqu'au contraire on n'a à sa disposition que de très faibles volumes de liquides, comme dans certains essais de fermentations pures par des bacilles ou des mucédinées, il faut absolument renoncer à l'emploi de l'alcoomètre. On commence donc par s'assurer de la présence de l'alcool éthylique, et pour cela, on emploie la méthode de Pasteur. Le liquide est mis à distiller dans un ballon à distillation en verre bien propre et sec, et l'on ne perd pas des yeux le col du ballon et le tube de dégagement jusqu'à ce que la distillation commence, s'il y a de l'alcool éthylique on aperçoit à ce moment sur le verre des stries caractéristiques formées

par les premières parties qui se condensent, stries qui ne se produisent pas avec les alcools supérieurs [1].

Comme confirmation on prélève quelques cent. cubes du liquide ainsi distillé et on y ajoute: 10 c.c. de soude caustique normale et 5 c.c. d'une solution normale d'iode dans l'iodure de potassium, et l'on porte un quart d'heure au bain-marie à 70°-75°. S'il y a de l'alcool il se forme un précipité d'iodoforme jaune soufre, que l'on peut caractériser au miscroscope par sa forme de cristaux disposés en étoiles. M. Muntz a pu ainsi caractériser jusqu'à 2 milligr. d'alcool dilués dans un litre d'eau.

Enfin on pourrait encore, si l'on a un liquide un peu riche en alcool, le caractériser par sa transformation en cacodyle dont l'odeur ne prête à aucun doute.

Les réactions qui précèdent ne donnent que des indications qualitatives. Quant au dosage de l'alcool sur ces faibles échantillons, il n'est guère possible que par le compte-goutte de M. Duclaux, et seulement lorsqu'on a affaire à de l'alcool éthylique seul ou à un mélange peu complexe dont on connaît bien la nature qualitative, ainsi que nous le verrons au dosage des impuretés. Nous ne nous occuperons ici que des mélanges d'eau et d'alcool. M. Duclaux [2] emploie pour cela un compte-goutte du volume de 5 c.c. pourvu d'un orifice tel que lorsqu'il est rempli d'eau distillée à la température de 15° cette eau donne exactement 100 gouttes. Si l'on remplace l'eau par un autre liquide de densité d et dans les mêmes conditions, on trouve n gouttes, et le rapport $\frac{100d}{n}$, qui est le rapport du poids des gouttes de ce liquide et de l'eau, donne ainsi le rapport des tensions superficielles de ces deux substances. La pipette doit être maintenue très propre et exempte de corps gras. La table suivante établie par M. Duclaux donne pour différentes

(1) L'alcool méthylique seul donne des stries analogues, mais on a peu de chance de le rencontrer dans les produits de fermentation. En cas de doute, l'essai suivant par l'iode permettrait la vérification, car l'alcool méthylique pur ne produit pas d'iodoforme, et si cet alcool méthylique renfermait de l'acétone, celle ci donnerait à froid un précipité d'iodoforme tandis que pour l'alcool éthylique le précipité ne se produit qu'en chauffant.

(2) *Annales de Physique et de Chimie*, 5° série, t. XIII.

températures le nombre de gouttes des mélanges d'eau et d'alcool de 0 à 15 %.

	TEMPÉRATURES							
	5°	7°5	10°	12°5	15°	17°5	20°	22°5
Eau distillée.	98	98.5	99	99.5	100	100.5	101	102
Alcool à 0,5 %	102	102.5	103	103.5	104	104.5	105	106
— 1 —	105	105.5	106	106.5	107	107.5	108	109
— 2 —	111	111.5	112	112.5	113	113.5	114.5	115.5
— 3 —	116	116.5	117	117.5	118	118.5	119.5	120.5
— 4 —	120.5	121	121.5	122	122.5	123.5	124.5	125.5
— 5 —	124	124.5	125	125.5	126.5	127.5	128.5	130
— 6 —	127	127.5	128.5	129.5	130.5	131.5	132.5	134
— 7 —	130	131	132	133	134	135.5	136.5	138
— 8 —	133	134	135.5	136.5	137.5	139	140	141.5
— 9 —	136	137	138.5	139.5	140.5	142	143	144.5
— 10 —	139	140.5	141.5	142.5	144	145	146.5	147.5
— 11 —	142	143.5	144.5	145.5	147	148	149.5	150.5
— 12 —	145	146.5	148	149	150.5	151.5	153	154.5
— 13 —	148.5	150	151	152.5	154	155	156	157.5
— 14 —	152	153.5	154.5	155.5	157	158	159	160.5
— 15 —	155	156.5	157.5	158.5	160	161.5	163	164.5

Ces indications, qui sont plus exactes que celles de l'alcoomètre jusqu'à des richesses inférieures à moins de 15 %, se trouvent au contraire faussées pour les richesses supérieures. On voit donc dans quelles limites elles doivent être employées. Cet instrument, trop peu répandu dans la pratique des laboratoires industriels, y peut rendre de nombreux services, car sensible à 1/2 goutte près, il permet d'apprécier 6 millimètres cubes d'alcool dans 5 c.c.

Quant aux instruments tels que le liquomètre, réfractimètre, etc., nous nous bornerons à dire avec un de leurs meilleurs constructeurs : « Les instruments qui mesurent l'alcool par l'attraction capillaire, sont sujets à des causes d'erreurs telles qu'on ne peut se fier à leurs indications ».

(96) *Les principales impuretés des alcools.*

Dans les alcools, et surtout les flegmes commerciaux, on rencontre un grand nombre d'impuretés dont la nature et la quantité sont fort variables suivant l'origine du produit, le temps depuis lequel il est fabriqué et surtout les soins qui ont été apportés à sa fabrication. Le nombre de ces impuretés est tellement grand et tellement variable qu'on est encore loin de les connaître toutes. Plusieurs d'entr'elles d'ailleurs, donnent à l'alcool, par l'arôme qu'elles lui communiquent, une valeur qu'il n'aurait pas sans leur présence; telles sont certaines impuretés qui accompagnent les alcools de vin, de fruits, voire même certains alcools de grains.

Mais à part ces rares exceptions, les produits qui accompagnent l'alcool méritent bien leur nom d'impuretés, et les hygiénistes sont d'accord pour dire qu'un alcool est d'autant plus hygiénique qu'il est plus pur, et que les propriétés nuisibles sont d'autant plus grandes que le nombre et la quantité de ces impuretés sont plus considérables.

Au point de vue chimique on peut faire rentrer ces impuretés dans les classes de corps suivantes :

1° *Bases.* — Ammoniaques et amines provenant surtout des fermentations putrides.

2° *Acides.* — Acides gras, qui accompagnent toutes les fermentations et surtout les fermentations dues aux bacilles et moisissures, la nature de l'acide variant avec le ferment.

3° *Alcools.* — A part l'alcool méthylique, qu'on ne trouve qu'à l'état de trace et dont l'origine est peu connue, les autres alcools semblent tous provenir de fermentations secondaires et être produits par des microbes spéciaux. Pour ces alcools de fermentation, le docteur Dujardin-Baumetz a établi qu'ils étaient d'autant plus nuisibles qu'ils s'élevaient plus haut dans la classification chimique des alcools.

4° *Aldéhydes.* — Ces produits, très toxiques et très odorants, semblent se produire en même temps que les acides gras qui leur correspondent dans les fermentations secondaires, de même que nous verrons l'al-

déhyde acétique ou éthylique accompagner la production de l'acide acétique, même en fermentation pure.

5° *Ethers.* — Doivent leur origine à l'éthérification des divers alcools par les acides gras qui prennent naissance dans les mêmes fermentations. Les acides minéraux que l'on introduit fréquemment dans les moûts ne semblent pas se combiner avec autant de facilité, bien qu'on ait signalé plusieurs fois la présence d'oxyde d'éthyle (éther sulfurique) dans des alcools, mais seulement à l'état de traces. Ce fait découle de la théorie de l'éthérification, les alcools et les acides gras se trouvant à l'état naissant au sein des fermentations.

Au point de vue pratique, on a classé ces impuretés en deux classes :

1° Les *produits de tête* dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'alcool ;

2° Les *produits de queue* dont le point d'ébullition est plus élevé.

Nous donnons ci-après une liste rapide des principales impuretés suivant cette classification, tout en faisant remarquer que dans la pratique on rencontre souvent des produits de queue dans les têtes de distillation et inversement, à tel point que l'aldéhyde valérique, bien que bouillant à 92°,5, est souvent classée dans les produits de tête.

On trouvera les autres propriétés principales de ces corps à la table (**35**).

Produits de Tête.	Points d'ébullition.
Ammoniaque	Volatile
Ethylamine.	18°7
Aldéhyde éthylique ou acétique	20°8
Oxyde d'éthyle (éther ordinaire).	34°8
Aldéhyde propionique.	48°7
Acroleine (aldéhyde acrylique)	52°
Formiate d'éthyle.	54°3
Acétate de méthyle	56°
Acétone (1).	56°4
Aldéhyde isobutyrique	62°

1. Signalée par divers auteurs, l'acétone nous semble plus un produit de fraude que de fermentation.

Alcool méthylique	66°
Acétate d'éthyle (éther acétique)	77°1
ALCOOL	78°05

Produits de Queue.

Alcool butylique tertiaire (triméthylcarbinol). .	82°5
Alcool isopropylique (ou secondaire)	83°
Acétate d'isopropyle	91°3
Aldéhyde isovalérique (valéral ou al. valérianique).	92°5
Acétate de butyle tertiaire	96°
Alcool allylique	97°
Alcool propylique primaire	97°
Acétate d'allyle	97°
Alcool butylique secondaire (Ethylméthylcarbinol).	99°
Acétate de propyle	100°8
Acétal (1)	104°
Acide formique	105°3
Alcool isobutylique primaire (dit de fermentation)	108°
Butyrate (iso) d'éthyle	110°1
Acétate de butyle secondaire.	111°
Alcool butylique normal.	116°
Acétate d'isobutyle primaire.	116°4
Acide acétique.	117°3
Butyrate d'éthyle	121°
Acétate de butyle normal.	125°1
Alcool isoamylique actif primaire de fermentation	127°
» » primaire de fermentation . .	132°
Valérate (iso) d'éthyle	134°3
Acétate d'isoamyle primaire.	137°6
» » actif.	144°
Acide butyrique	160°
Caproate d'éthyle.	162°
Furfurol	162°
Butyrate d'isoamyle	176°
Caprylate d'éthyle.	214°

Il existe encore d'autres produits, comme l'acide cyanhydrique, la vanilline, etc., provenant du dédoublement des glucosides, mais qui rentrent plutôt dans la catégorie des parfums spéciaux à chaque matière première. Pourtant on ajoute souvent à cette liste des impuretés générales les *terpènes*, carbures assez peu

(1) L'acétal se forme par combinaison de l'alcool et de l'aldéhyde. Très rapidement dans les flegmes et les mauvais goûts de tête; par vieillissement dans les vins.

définis de la série de la térébenthine et de formule générale $n\ C^{10}H^{16}$, bouillant suivant leur nature de 156 à 170° ; ils semblent provenir des matières résineuses des grains, des pépins etc., aussi les rencontre-t-on surtout dans les huiles essentielles de grains et de marcs, mais pas dans les produits de la betterave ou de la pomme de terre. Enfin il existe dans les vins ou moûts fermentés nombre d'autres acides organiques, peu ou pas volatils qui restent dans les vinasses, ou ne passent dans les flegmes qu'à l'état d'éthers dont nous avons signalé les principaux.

(97). *Recherche et dosage des impuretés dans les alcools.*

La presque totalité de ces impuretés pouvant être éliminée par les procédés de rectification et de filtration, l'analyse complète d'un flegme brut n'offre qu'un intérêt pratique secondaire. Cette analyse d'ailleurs est possible mais longue, et, à part le dosage des éthers qui offre de l'intérêt dans le cas des mauvais flegmes et surtout du repassage des mauvais goûts de tête, on se borne à une simple recherche qualitative. Les méthodes sont les mêmes que pour l'analyse des trois-six.

Pour l'analyse de ces derniers qui a surtout pour but de déterminer la valeur d'un alcool, il y a deux points de vue à considérer :

Au point de vue commercial, l'alcool, qui est vendu pour être bu, doit avant tout être agréable au goût et à l'odorat, quelle que soit sa pureté.

Au point de vue hygiénique, l'alcool doit être neutre à toutes les réactions, c'est-à-dire chimiquement pur, quelle que soit sa valeur dégustative, ou du moins aussi pur que possible.

Donc, la dégustation est, et restera toujours la base commerciale de la valeur d'un alcool, d'autant plus que les impuretés n'ont pas la même valeur et que des traces non dosables de certains corps comme l'acroléine l'acétate de propyle, etc., donnent à l'alcool une odeur tellement intense qu'il est invendable, tandis que d'autres impuretés à dose cent fois plus considérable laisseront passer l'alcool comme marchand. Néanmoins

la dégustation elle-même est insuffisante; elle varie d'un dégustateur à l'autre, et est souvent incapable de déceler certaines fraudes ou certaines impuretés, c'est pourquoi elle doit être contrôlée par l'analyse chimique.

Les méthodes d'analyse des alcools peuvent se diviser en deux classes :

1° Méthodes de recherche et de dosage d'une impureté déterminée ;

2° Méthodes de dosage ou d'appréciation de l'ensemble des impuretés.

Nous passerons en revue les principales méthodes.

Méthodes de recherche et dosage d'une impureté déterminée

(**98**). *Recherche et dosage des éthers.*

Ce dosage, qui ne se fait en général que pour les flegmes et les produits de tête à repasser, a surtout pour but de doser la quantité de soude caustique nécessaire à les saponifier, aussi dose-t-on tous les éthers *en bloc*, et en exprimant le résultat comme si tous étaient *l'éther acétique*.

Pour cela, on commence par déterminer l'acidité du flegme, s'il y a lieu, par les procédés ordinaires d'acidimétrie (**66**), puis on met dans un grand ballon un litre ou deux du liquide avec un excès de soude ou de potasse caustique titrée, on relie le ballon à un réfrigérant ascendant, et on maintient à une douce ébullition pendant deux heures. Au bout de ce temps on laisse refroidir le liquide, et on y dose par l'acide sulfurique titré la quantité d'alcali qui a saponifié les éthers.

Exemple : 1 litre de flegme acide est saturé par 0 cc, 8 de potasse titrée correspondant à 100 grammes d'acide SO^4H^2 par litre. L'acidité de ce flegme exprimée en acide acétique sera : $0{,}8 \times \frac{60}{49} = 0$ gr, 098 par litre.

1 litre de ce flegme est additionné de 20 cc. de la même solution de potasse et traité comme nous venons

de l'indiquer. Après saponification, il faut pour ramener la neutralité ajouter 5 cc. 4 d'acide titré ; 20 - 5,4 = 14 cc, 6 est la quantité de potasse combinée aux acides du flegme, dont 0 cc. 8 aux acides libres et 13 cc. 8 aux acides des éthers, ces derniers acides correspondent donc à 1 gr. 38 d'acide SO^4H^2 par litre. L'équivalent de l'éther acétique étant 88, on exprimera le total des éthers en fonction de ce dernier comme suit : $1,38 \times \frac{49}{88}$ = 2 gr. 478 d'éther acétique par litre. Cette méthode n'est pas rigoureuse, car une partie de l'alcali sert à résinifier les aldéhydes, mais telle quelle, elle suffit à la pratique.

Si l'on voulait pousser plus loin l'analyse, on distillerait le flegme après les deux heures de saponification, en recueillant les alcools pour y doser les alcools autres que l'alcool éthylique, et avant de saturer l'alcali. Le dosage en bloc est fait comme précédemment, mais sur le résidu seulement; puis on ajoute à ce résidu un excès d'acide sulfurique et on distille à nouveau, en rajoutant de l'eau à plusieurs reprises, jusqu'à ce que les produits de distillation ne soient plus acides. C'est sur les eaux acides ainsi recueillies que l'on recherche et dose les acides gras, et par suite la nature exacte des éthers. Ces dosages d'acides gras peuvent être faits avec avantage par la méthode indiquée par M. Duclaux [1], méthode qui permet le dosage même sur des quantités très faibles de matière, et à laquelle nous renvoyons le lecteur.

(99). *Recherche et dosage de l'aldéhyde.*

Ainsi que l'a fort bien dit le Docteur Lang [2] chef du laboratoire de la Régie des alcools en Suisse :

« Les produits de tête sont ordinairement caracté-

1. DUCLAUX. — Sur les forces élastiques des vapeurs émises par les mélanges de deux liquides. — *Annales de Physique et de Chimie*, 5e série, t. XIV.

DUCLAUX. — Sur un nouveau moyen d'éprouver la pureté des corps volatils. — *Annales de Physique et de Chimie*, 6e série, t. VIII.

(2) *L'Alcool et le Sucre*, 2e année, nos 3, 4 et 5.

« risés par la présence d'aldéhydes et d'éthers d'acides,
« c'est-à-dire par des substances à point d'ébullition
« peu élevé.

« Les aldéhydes, et spécialement l'aldéhyde acétique,
« sont par conséquent les seuls corps que l'on prend
« sérieusement en considération dans l'analyse des
« têtes de rectification ; ils sont caractérisés par une
« grande puissance de réaction, ce qui rend leur iden-
« tification facile. »

L'une des réactions les plus sensibles, et certainement la plus employée est celle découverte par Schiff et perfectionnée par U. Gayon, basée sur la coloration rose violacée que donnent les aldéhydes et les acétones dans une solution de fuschine décolorée par l'acide sulfureux. Le réactif de M. U. Gayon est le suivant :

1 gramme de fuschine en solution dans l'eau .	1 litre
15 grammes bisulfite de soude cristallisé et eau.	14 c.c.
Acide chlorhydrique pur	10 c.c.

On verse le bisulfite dans la solution de fuschine, puis, au bout d'une heure, quand la décoloration est à peu près complète, on ajoute l'acide et on verse en flacons bien bouchés, de verre jaune, que l'on conserve à l'abri de la lumière. Cette liqueur n'est réellement sensible qu'après plusieurs jours de préparation.

Pour un essai, on ramène l'alcool à 50° avec l'eau et on en introduit 2 c. c. dans un tube à essai avec 1 c. c. de réactif, on agite et on laisse reposer. S'il n'y a pas d'aldéhyde, le liquide reste incolore ; s'il y en a la coloration rose est d'autant plus intense qu'il y a plus d'aldéhyde. On note la coloration au bout de 10 minutes, et pour le dosage on opère par comparaison avec des mélanges connus d'alcool pur et d'aldéhyde pure de titre connu.

Le défaut de ce réactif est d'être trop sensible, l'alcool pur lui-même au contact de l'air donnant une coloration, et les vapeurs d'aldéhyde qui existent toujours dans l'atmosphère d'un laboratoire de distillerie suffisant à colorer le réactif, aussi, malgré la précaution indiquée par M. U. Gayon de noter la coloration au bout de 10 minutes, l'on a toujours tendance à trouver plus

d'aldéhyde que la réalité, et surtout à en trouver même où il n'y en a pas.

D'après M. Lang (1), la méthode la plus recommandable serait la méthode proposée par Windisch et basée sur la coloration de la métaphénylène-diamine. Voici comment cette réaction est appliquée dans le laboratoire de M. Lang, où elle est en usage depuis 1890 :

« Si l'on traite un liquide alcoolique contenant des aldéhydes par le chlorhydrate de métaphénylène-diamine, le liquide prend aussitôt une teinte jaune ou orangée, donnant quelque temps après une belle fluorescence verte qui devient peu à peu plus foncée.

« On peut se servir pour la comparaison aussi bien de la coloration jaune, qui atteint son maximum d'intensité au bout de 10 minutes environ, que de la fluorescence, qui ne commence à apparaître qu'au bout de 30 minutes. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que l'acide nitreux réagit également sur la métaphénylène-diamine. Si l'on se contentait d'observer la coloration jaune on s'exposerait à des causes d'erreur qui ne pourraient être mises de côté qu'en attendant l'apparition de la fluorescence. C'est pourquoi nous basons nos observations exclusivement sur cette dernière, que nous observons environ une heure après le commencement de l'expérience. La substance verte fluorescente ($C^{14}H^{16}N^{2}$) a été isolée pour la première fois par H. Schiff et A. Vanin.

« Nous nous servons pour cette réaction d'une solution aqueuse à 10 % de chlorhydrate de métaphénylène-diamine fraîchement préparée.

« L'alcool à analyser (10 cm^3) est mélangé dans une éprouvette avec 1 cm^3 du réactif. On observe la coloration environ une heure après et l'on détermine approximativement la teneur en aldéhyde en comparant la couleur obtenue à des solutions d'aldéhyde de titres connus. Nous remarquerons que tous les alcools sont ramenés avant l'opération au même degré de concentration, c'est-à-dire à 95 % en volume. L'alcool ayant été logé dans des futailles en bois, doit, avant l'analyse, être distillé à nouveau.

1. Loc. cit.

« Le maximum de dilution au delà duquel, au bout d'une heure, la réaction n'est plus suffisamment sensible et comparable, est, selon nous, une solution à 0,02 0/00 d'aldéhyde. Nous employons ensuite, pour la comparaison, des solutions à 0,03, 0,05, 0,07, 0,08, 0,1, 0.15, 0,2, 0,4, 0,7, 1,0, 1,5 2,5 et 5,0, 0/00 en volume. Pour éviter l'établissement de cette échelle avant chaque analyse, nous avons préparé, au moyen d'un mélange de solutions de fluorescéine, de chrysoïdine, d'orange-méthyle et de bleu d'aniline, les mêmes nuances que celles de l'échelle en question. Ces solutions sont conservées dans des tubes de verre, fermés à la lampe, d'une contenance de 11 cm^3 et servent comme types de nuance dans nos analyses. Une identité absolue de couleur et de nuance n'a pas encore été atteinte ; c'est pourquoi nous nous abstenons d'indiquer ici les proportions de mélange des colorants mentionnés. »

(100) *Recherche et dosage du furfurol.*

Cette recherche et ce dosage sont basés sur la réaction découverte par Jorissen, que le chlorhydrate et surtout l'acétate d'aniline donnent une coloration rouge avec le furfurol. Dans un tube à essai on verse 1 c. c. d'aniline pure et autant d'acide acétique cristallisable bien pur, le mélange doit rester à peu près incolore. On verse alors sur ce mélange 3 c. c. de l'alcool à essayer. La coloration rouge se produit d'autant plus vite et plus intense que la quantité de furfurol est plus grande. On peut pour le dosage se faire une échelle de comparaison à l'aide d'une solution de safranine mise dans des tubes semblables et dont on règle la coloration une fois pour toutes sur des échantillons types renfermant de 0,005 à 0,1 0/00 de furfurol.

« Le seul corps dont la présence est pour ainsi dire constante dans les produits de queue et dont la puissance de réaction permette une identification facile est le furfurol, qui, d'après les essais les plus récents, ne se forme pas directement lors de la fermentation, mais seulement lors de la distillation de liquides alcooliques. » (1).

1. Dr Lang. — Loc. cit.

La présence du furfurol dans un trois-six indique toujours une rectification insuffisante, le furfurol accompagnant toujours d'autres produits de queue. Mais comme le furfurol ne se rencontre pas dans tous les alcools bruts, tels que ceux provenant de mélasses saines. son absence ne peut permettre de conclure à une bonne rectification et il faut rechercher d'autres produits de queue.

En outre, la présence du furfurol n'est plus elle-même un indice de mauvaise rectification, si l'alcool a séjourné dans des fûts en bois. Il ressort en effet de nombreux essais du Docteur Lang, que des trois-six purs de même provenance et qualité ayant séjourné les uns dans des fûts en bois nus ou mal gélatinés, les autres dans des fûts bien gélatinés, il s'était produit du furfurol dans les premiers fûts tandis que les seconds restaient indemnes. Le gélatinage des fûts en bois étant impossible en France, à cause du dépotage à l'eau qu'exige l'Administration, la recherche du furfurol n'a de valeur que pour les alcools sortant de la colonne ou expédiés dans des fûts en fer, mais, dans ces derniers cas, c'est un excellent indice.

(**101**) *Recherche et dosage des alcools supérieurs*

A défaut de réaction bien déterminée pour caractériser les produits de queue, on a eu recours à la recherche des alcools supérieurs, et en particulier de l'alcool amylique qui forme la plus grande partie des fusels ou huiles essentielles. Les procédés imaginés n'ont pas donné jusqu'à ce jour des résultats suffisants pour les alcools de bonne qualité extra-fins et surfins, et restent inférieurs à la dégustation pour cette détermination. Il est toujours bon, dans le cas des alcools fins, de s'aider d'une rectification préalable de 1 à 2 litres d'alcool dont on soumet seulement les queues à l'épreuve, qu'il s'agisse de dégustation ou bien d'essai chimique.

La méthode à préférer est encore celle de Uffelmann : l'alcool à essayer est ramené par l'eau à 20°, puis 200 cc. du mélange introduits dans une éprouvette bouchée

avec 20 c. c. de chloroforme pur (1). On agite à plusieurs reprises et on décante le chloroforme qui surnage entraînant avec lui les huiles essentielles, on le laisse évaporer à une douce chaleur dans un verre de Bohême plat.

Le résidu est caractérisé par son odeur dans des limites assez restreintes ainsi que l'indique le tableau suivant que nous empruntons à la note du Docteur Lang :

SUBSTANCES	Limite de la dilution où le goût et l'odeur sont appréciables	Limite de la dilution où, après extraction de 200 cm³ par le chloroforme et évaporation de ce dernier une odeur peut être perçue
Huiles essentielles .	1 : 50,000	1 : 20,000
Alcool amylique .	1 : 50,000	1 : 20,000
Ether acétique . .	1 : 50,000	1 : 10,000
Acétate d'amyle. .	1 : 100,000	1 : 500,000
Base Morin. . .	1 : 1,000,000	1 : 1,000,000

Ce procédé peut néanmoins rendre quelques services pour les recherches des alcools dans les produits de basse qualité ou les flegmes, d'autant plus que l'on peut, en oxydant le résidu par le permanganate de potasse ou l'acide chromique, transformer l'alcool amylique en acide valérique, l'alcool butylique en acide butyrique facilement reconnaissables et dosables.

Il ne faut pas perdre de vue le défaut inhérent à toutes ces méthodes et qui est celui-ci : S'il est exact que l'alcool amylique constitue environ les 3/5e de l'ensemble des produits de queue qui existent dans un flegme, sa proportion dans des alcools fins est toute différente, parce qu'il existe nombre d'autres produits de queue qui passent à la rectification bien avant que l'alcool amylique apparaisse à son tour.

M. Barbet en analysant un moyen goût de queue d'une rectification de flegmes de grains, a trouvé que l'alcool amylique ne formait que 6 % de l'ensemble des

1. Bien s'assurer de la pureté du chloroforme, et mieux le purifier soi-même de temps en temps. Le chloroforme s'altère rapidement.

impuretés. Il est vraisemblable que dans l'alcool fin la proportion est encore moindre.

Supposons que l'on fasse l'analyse de l'alcool par la méthode Rœse, dont les données sont toutes rapportées à l'alcool amylique. On sait que les diverses autres impuretés n'ont pas le même coefficient d'influence sur l'augmentation de volume du chloroforme, et que les variations oscillent dans de très grandes limites. Dès lors quelle est la valeur qu'il est raisonnable d'attribuer à une analyse Rœse, faite avec le soin le plus méticuleux, lorsqu'on libelle le résultat de l'analyse en millièmes d'alcool amylique, puisque toutes les autres impuretés ont des coefficients inconnus, et que la seule impureté, pour laquelle la méthode est exacte, ne figure que pour un à deux pour cent dans l'ensemble des corps inconnus ?

Dans le remarquable travail publié M. le Dr Lang, dans l'*Alcool et le Sucre*, on a pu remarquer que ce savant n'a recommandé la méthode de Rœse que pour l'analyse des flegmes. Là en effet, comme l'alcol amylique figure pour 50 à 70 % du poids des produits de queue, les indications fournies par le chloroforme, ont un peu plus de valeur.

La méthode Rœse ne devient réellement précieuse que dans les bas produits riches en fusel. Mais dans ces cas le compte-gouttes de Duclaux nous donnera aussi de très utiles indications, et par un procédé autrement rapide et commode que la méthode de Rœse.

Nous empruntons le passage suivant à l'étude que M. Duclaux a publié sur la séparation des liquides mélangés (1) :

« Quant à un alcool de degré déterminé, possédant une certaine densité évaluable à l'alcoomètre, et une certaine tension superficielle mesurable au compte gouttes, on ajoute des quantités de plus en plus grandes d'alcool amylique et qu'on s'arrange, par des additions convenables d'eau, de façon à maintenir constante dans tous les cas l'indication alcoométrique, on obtient des mélanges dont la tension superficielle décroît rapidement à mesure qu'augmente la proportion d'alcool

(1) *Annales de Physique et de Chimie*, 5e série, t. VII.

amylique. Le nombre de gouttes que fournit chacun d'eux est donc caractéristique de sa composition.

« Je suis parti de l'alcool à 5 degrés, donnant 129 gouttes par 5 centimètres cubes dans une pipette compte-gouttes dans laquelle 5 c. c. d'eau donnaient 100 gouttes. J'ai ajouté de l'alcool amylique et de l'eau de façon à maintenir la même indication de l'alcoomètre, et en mesurant à chaque fois le nombre de gouttes, j'ai obtenu la table de correspondance suivante, bonne seulement pour la température de 20 degrés :

	ALCOOL	
	Ordinaire pour cent	Amylique pour cent
129 gouttes correspondent à .	5	0,000
137,5 — — . .	5	0,127
145 — — . .	5	0,253
153 — — . .	4,9	0,380
159 — — . .	4,9	0,507
173 — — . .	4,9	0,760
185 — — . .	4,8	1,014
197 — — . .	4,8	1,267
209 — — . .	4,6	1,520
221 — — . .	4,3	1,774
232 — — . .	3,9	2,028
244 — — . .	3,6	2,280
255 — — . .	3,2	2,534

« Ce dernier chiffre correspond à peu près au maximum de solubilité de l'alcool amylique dans le mélange maintenu à 5 %.

« Cette table résout le problème. Etant donné, en effet, un mélange d'eau, d'alcool ordinaire et d'alcool amylique, on peut toujours en y ajoutant de l'eau et au besoin des quantités connues d'alcool, l'amener à 5 degrés à l'alcoomètre à la température de 20 degrés. Dès lors la mesure de son nombre de gouttes donnera sa composition. Il est utile et toujours facile de se tenir dans les derniers nombres du tableau : c'est là en effet

que la précision est la plus grande dans la mesure des deux alcools.

« Pour l'alcool amylique en particulier, la sensibilité est telle, que l'on peut en apprécier sûrement 0,02 % sur un volume de 5 centimètres cubes, c'est-à-dire environ 10 millimètres cubes. Cette proportion correspond à une augmentation d'une goutte, quantité dont l'instrument permet toujours de répondre. »

Nous bornerons là cette longue citation, mais nous tenions à parler de cette méthode trop peu connue des gens techniques à qui elle peut rendre de nombreux services dans des recherches délicates. Ajoutons que l'on peut construire d'autres tables de concordance analogues à la précédente pour les différents mélanges à étudier tels que les alcools propylique, butylique etc, les acides acétique, formique, etc., en suivant les indications données par M. Duclaux.

(102) *Méthodes de dosage ou d'appréciation de l'ensemble des impuretés.*

Ces méthodes sont les plus répandues dans les laboratoires industriels, et aussi les plus anciennes. Nous emprunterons encore au travail du Dr Lang (1) l'appréciation suivante :

« Parmi les méthodes chromatiques, la plus usitée est celle proposée d'abord par Dumas et basée sur l'action de l'acide sulfurique concentré ; elle a été introduite en France par Savalle et en Suède par Stenberg. Son inexactitude a été cependant suffisamment prouvée par Stutzer et Raitmer.

« Les procédés de Bang et de Godefroy sont basés sur le même principe. »

Et plus loin :

« Il serait très important de posséder un réactif permettant de déterminer le degré d'affinage d'un alcool et d'opérer sa classification en trois-six fin, surfin ou extra-fin. Ce sont là des nuances fort délicates, et il n'y a jusqu'à présent, en dehors de la dégustation, que la méthode Barbet, par le permanganate de potasse,

(1) *L'Alcool et le Sucre,* 2e année, n° 5, nov. 1893.

qui semble donner des indications de quelque utilité dans cet ordre de recherches. »

Ce procédé a été publié avec les plus grands détails par M. E. Barbet dans le *Journal de la Distillerie française*, numéros de Mars et Avril 1889. Tout en conseillant de s'y reporter, nous allons résumer ici les principaux points de cette méthode :

Elle repose sur l'emploi du permanganate de potasse dans les conditions suivantes :

On fait une dissolution de 0 gr. 100 de permanganate cristallisé pur dans un demi-litre d'eau distillée bien pure. C'est la solution type, et l'unique réactif exigé par la méthode.

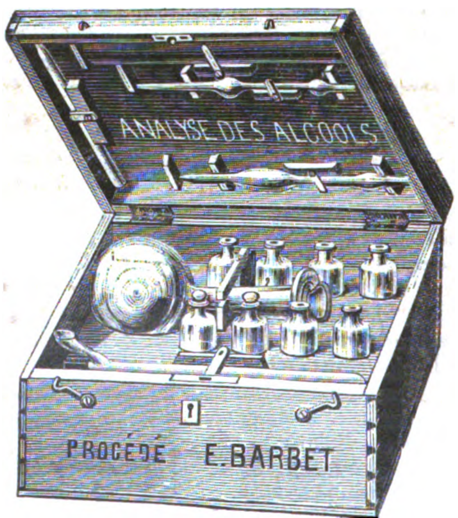


Fig. 5. — Nécessaire d'analyse au permanganate.

L'alcool à analyser est versé dans un flacon en cristal, jusqu'à affleurement avec un trait circulaire qui correspond à un volume de 50 centimètres cubes. On y introduit un petit thermomètre gravé sur verre, du type des thermomètres de la régie, et l'on s'arrange pour amener la température du liquide à 18° centigrades. D'autre part, avec une pipette à un trait, on verse rapidement 2 centimètres cubes de réactif au perman-

ganate, et on note au même instant l'heure exacte sur une montre à secondes. On agite pour mélanger ; la coloration rose-violacée disparaît peu à peu pour faire place à une nuance saumon bien plus pâle, presqu'incolore. Au bout de quelques instants, la teinte contitinue à changer, et tourne à la rouille, puis au jaune citron. Enfin, au bout de plusieurs heures, l'alcool redevient absolument incolore, et l'oxyde de manganèse se dépose au fond du flacon.

C'est le premier virage à la teinte saumon pâle que l'on observe soigneusement ; l'on note exactement le temps qu'elle a exigé pour devenir identique à une teinte type fournie avec le nécessaire à analyse. La durée de la décoloration est proportionnelle à la pureté chimique de l'alcool analysé. Cette durée, qui avait été en 1889 fixée à 44 minutes pour l'alccol pur, est aujourd'hui reconnue insuffisante, car nous avons rencontré dans la dernière campagne (Distillerie de Clastres, nov. 1893) des alcools rectifiés qui décoloraient seulement en 105 minutes. Les extra-neutres ordinaires du commerce mettent de 25 à 45 minutes ; les extra-fins de 2 à 10 minutes, et les alcools dits « fin Nord » descendent en dessous de une minute.

Pour les flegmes, il est essentiel d'opérer toujours au même degré alcoolique, car la dilution a une très grande influence sur les résultats de l'analyse. Nous conseillons d'opérer toujours à 42°5, degré auquel M. Barbet a reconnu l'existence d'une sorte de maximum de rapidité décolorante. Car on constate une assez singulière anomalie : il semblerait que, plus on ajoute d'eau distillée à l'alcool, et plus la décoloration doive être lente, les impuretés étant plus diluées. Il n'en est rien, parce que l'alcool pur lui-même, étendu d'eau distillée, décolore le permanganate bien plus vite que lorsque l'alcool est à 95-96 degrés. Ainsi, au lieu de 44 minutes, il ne lui faut plus que 15 minutes et demie à 42°5.

Pour pouvoir comparer les flegmes comme pureté d'un jour à l'autre, ou d'une semaine à l'autre, il est donc essentiel de faire toujours l'essai à 42°,5. Il faut aussi prendre soin de saturer préalablement le flegme, car l'acidité fausse les indications.

La décoloration des flegmes ou des mauvais goûts est généralement très prompte, quelquefois instantanée.

On peut, si l'on veut, faire une dissolution plus concentrée de permanganate, à raison de 0 gr. 500 par demi-litre, et en mettre soit 2, soit 5 centimètres cubes; c'est ce que M. Barbet a appelé les méthodes B, D et F; les durées de décoloration deviennent plus longues et plus faciles à noter.

Mais, néanmoins, l'on a rarement recours à ces méthodes, et l'on trouve plus pratique, et bien suffisant pour la plupart des cas, de n'avoir qu'une seule liqueur type à 0 gr. 100 par demi-litre. Seulement, pour les mauvais alcools, l'auteur a modifié de la manière suivante le mode d'opérer, et c'est ce qu'il a appelé la méthode G.

On met dans le flacon d'essai, non plus l'alcool, mais au contraire le permanganate, dont on mesure 10 c.c. avec une pipette, L'alcool est mis dans une burette anglaise de 50 c.c., dont le bec est assez gros pour permettre un coulage un peu rapide. On verse l'alcool sur le permanganate en agitant sans cesse, jusqu'à ce que la couleur violacée soit changée en une teinte « cuivre rouge » déterminée par une seconde teinte type. Moins il faudra d'alcool pour atteindre à cette nuance, et plus l'alcool analysé sera impur.

Tel est le procédé dans ses grandes lignes.

Ajoutons que le procédé peut être modifié dans plusieurs cas, et suivant les besoins. C'est ainsi, que, dans les pays chauds, la température de 18° étant fort difficile à maintenir, on peut adopter une température plus élevée; mais la décoloration sera plus rapide; à 26-27° elle est sensiblement deux fois plus rapide qu'à 18°; les comparaisons ne sont plus possibles avec des essais faits à une autre température, il est vrai, mais ils restent toujours comparables entre eux, et c'est là le point essentiel pour une même usine. D'ailleurs, comme l'a fait remarquer son auteur :

« L'essai au permanganate n'est qu'un excellent *terme de comparaison*, qui est d'autant plus précis qu'on lui donne à comparer deux échantillons de même nature; ainsi, il ne faudrait pas comparer un alcool de

tête de rectification avec un alcool de queue. Mais le permanganate dit si un alcool est bien ou mal rectifié, et il vient en aide à la dégustation pour les personnes qui n'ont pas l'odorat très exercé. »

Ce procédé n'a que la prétention d'être sensible, et assez simple pour être mis entre les mains d'un contremaître ou de tout ouvrier soigneux. En outre, quand la durée de décoloration est excessivement longue, on est sûr qu'il n'y a que des traces imperceptibles « de substances facilement oxydables. » Il y a donc bien des chances alors pour que les substances nuisibles à la santé, à quelque groupe qu'elles appartiennent, n'existent plus dans l'alcool considéré. N'est-ce pas déjà important, au seul point de vue de l'hygiène publique, que d'avoir un réactif qui permette de dire : il n'y a plus d'impuretés, sinon à une dose absolument infinitésimale et inappréciable pour le chimiste ?

Voilà, nous semble-t-il, le véritable service qu'on peut demander au permanganate ; c'est un réactif négatif, un réactif qui ne dit pas ce qu'il y a, mais qui sait dire qu'il n'y a plus rien (1).

Qui sait si nous n'arriverons pas un jour à produire un alcool qui ne décolorera pas plus du tout le permanganate ? Déjà nous avons vu ce phénomène pour l'alcool méthylique lui-même. M. Cazeneuve avait autrefois proposé le permanganate pour déceler l'alcool méthylique dans l'alcool vinique. Or, il a été reconnu depuis qu'on peut obtenir un alcool méthylique suffisamment pur pour que la décoloration du permanganate dure 24 heures et plus.

On trouve dans « *l'Alcool et le Sucre* » (2), une étude critique très complète de ce procédé, par le docteur Lang, qui a en outre étudié les perturbations apportées aux résultats par l'exposition au soleil des échantillons d'alcool, et leur vieillissement. La planche V donne la représentation graphique de ces analyses.

Pour terminer cette étude, nous devons encore signaler le procédé de dosage total des impuretés imaginé par M. Rœse, et fondé sur l'augmentation de

---

(1) *L'Alcool et le Sucre*, déc. 93, page 83.
(2) 2e année, nos 5 et 6, nov. et déc. 1893.



volume du chloroforme. Ce procédé est certainement le plus complet, mais, pour être exact, il demande des manipulations si précises, une organisation si coûteuse, et tant de temps (8 heures environ), que nous ne pensons pas qu'il sorte jamais des laboratoires d'administration. On trouvera les détails de ce procédé tel qu'il est employé au laboratoire du Monopole suisse, dans « *l'Alcool et le Sucre* », n° 7 du 15 janvier 1894.

D'ailleurs, le procédé Rœse, malgré son exactitude apparente, n'offre pas plus de précision que les autres méthodes de dosage d'ensemble des impuretés. Il exprime toutes ces impuretés comme si elles étaient de l'alcool amylique. Or, l'augmentation de volume du chloroforme n'est pas du tout la même s'il s'agit d'éthers ou d'huiles. Donc, malgré la complication, on n'arrive qu'à une appréciation et non à un dosage véritable.

(**103**) *Méthodes officielles françaises.*

En France, il n'y a pas à proprement parler de méthode officielle d'analyse des alcools destinés à la consommation, les fraudes ou falsifications se produisant surtout chez les intermédiaires qui transforment ces alcools en liqueurs de consommation, falsifications qui sont recherchées par tous les procédés possibles dans les laboratoires d'hygiène publique. Les seuls procédés officiels sont relatifs aux alcools destinés à la dénaturation, et aux produits devant servir à cette opération.

Ces procédés ont été fixés par M. Bardy, suivant décision du Comité consultatif des Arts et Manufactures, et rendues obligatoires, pour les Administrations de la Régie et des Douanes, par la circulaire du Directeur général des Contributions Indirectes n° 61, en date du 25 juin 1893.

Nous reproduisons ci-dessous ces procédés tels qu'ils ont été annexés à la dite circulaire, et avant nous rappellerons brièvement les conditions imposées par le Comité pour la dénaturation des alcools :

1° Les alcools présentés à la dénaturation ne devront pas contenir plus de 1 % d'huiles essentielles ; ils devront marquer 90° alcoométriques à la température de

15° (sans corection); pour certaines fabrications spéciales, le degré pourra être supérieur à 90°.

2° Les méthylènes employés à la dénaturation devront marquer 90° alcoométriques à la température de 15° (sans correction), et contenir 25 % d'acétone avec une tolérance de 0,5 % en plus ou en moins, et 5 % au minimum d'impuretés pyrogénées méthyliques leur donnant l'odeur caractéristique des produits de la distillation du bois.

3° Il n'est dérogé au principe qui soumet aux droits les liquides alcooliques qu'en faveur des huiles essentielles ou résidus de la distillation qui contiennent au maximum 6 % d'alcool.

Pièce annexe A

DOSAGE DES HUILES ESSENTIELLES DANS LES ALCOOLS

Essai qualitatif

Prendre 1 centimètre cube d'alcool; ajouter 25 centimètres cubes d'eau distillée, puis 1 centimètre cube de permanganate à 1 gramme par litre, Si la teinte ne change pas sensiblement de nuance au bout de quelque temps, c'est qu'il n'y a que des traces d'huiles essentielles, et alors il n'y a pas lieu d'en effectuer le dosage.

Si la teinte vire plus ou moins brusquement au marron ou au jaune, faire l'essai suivant :

Placer dans un tube à essai 5 centimètres cubes d'alcool et y ajouter 30 à 35 centimètres cubes d'eau salée colorée par un peu de violet d'aniline.

A) Il ne surnage aucune couche huileuse.

B) Il flotte à la surface du liquide une quantité plus ou moins importante d'alcools supérieurs teintés en violet.

A) *Il ne surnage aucune couche huileuse sur l'eau salée*

1° Prendre 100 centimètres cubes d'alcool, les introduire dans un entonnoir à décantation d'un litre; ajouter 60 à 70 centimètres cubes de sulfure de carbone, puis 450 centimètres cubes d'eau salée saturée et une quantité d'eau suffisante pour redissoudre le sel qui se précipite (50 centimètres cubes environ).

2° Agiter vigoureusement l'entonnoir, puis laisser reposer;

3° Décanter le sulfure de carbone dans un entonnoir à robinet de 300 centimètres cubes environ en évitant l'introduction d'eau;

4° Faire deux autres épuisements semblables et réunir le sulfure de carbone à celui provenant du premier essai ;

5° Agiter alors le sulfure de carbone avec une quantité d'acide sulfurique concentré suffisante pour que celui-ci tombe au fond de l'entonnoir après agitation (2 à 3 centimètres cubes en général sont suffisants) ;

6° Laisser bien reposer, puis décanter l'acide dans une fiole de 125 centimètres cubes ; laver deux fois le sulfure de carbone avec 1 centimètre cube d'acide sulfurique chaque fois et réunir ces liquides à celui déjà introduit dans la fiole ;

7° Faire passer ensuite un courant d'air à la surface du liquide en chauffant au besoin vers 60°, de façon à chasser le sulfure qui a pu être entraîné ;

8° Ajouter une quantité d'acétate de soude cristallisé nécessaire pour neutraliser la presque totalité de l'acide sulfurique (pour 10 centimètres cubes d'acide sulfurique, 15 grammes d'acétate suffisent), puis chauffer au bain-marie pendant un quart d'heure en ayant soin de munir la fiole d'un bouchon portant un tube de verre de 1 mètre de longueur faisant fonction de réfrigérant ;

9° Laisser refroidir et ajouter 100 centimètres cubes d'eau salée, puis introduire le tout dans un entonnoir à décantation de 300 centimètres cubes dont la partie inférieure est graduée en dixièmes de centimètre cube ;

10° Laisser reposer quelque temps, puis décanter le liquide de façon à amener les acétates des alcools supérieurs dans les limites de la graduation et lire le nombre de centimètres cubes qu'ils occupent.

Le nombre lu, multiplié par 0,8, donne la quantité d'alcools butylique et amylique existant dans l'alcool.

Pour doser les alcools propyliques, filtrer sur du papier mouillé l'eau salée contenant l'alcool, afin de la débarrasser du sulfure de carbone, puis distiller jusqu'à ce que le liquide marque 50° à 15° (à ce moment la totalité des alcools a passé à la distillation); en remplir une burette à robinet et faire couler goutte à goutte dans un becherglass contenant 1 centimètre cube de permanganate à 1 gramme par litre et 50 centimètres cubes d'eau, jusqu'à obtention d'une teinte rouge cuivre semblable à une teinte type.

Dans ces conditions, il faut à peu près 2 centimètres cubes 5 d'alcool à 50° contenant 1 p. 100 d'alcool isopropylique pour avoir la teinte voulue.

Il suit de là que, d'après le nombre de centimètres cubes employés, on peut en déduire la teneur approchée du liquide en alcool propylique ; ce nombre devra être ensuite ramené à la prise d'essai initiale.

En ajoutant le nombre ainsi trouvé au résultat donné par la méthode au sulfure, on aura la proportion totale d'huiles essentielles existant dans 100 parties d'alcool essayé.

Le dosage approximatif de l'alcool propylique ainsi pratiqué sera suffisant dans la majeure partie des cas. Si une détermination plus précise était nécessaire, elle serait faite par la méthode homéotropique.

Nota. — La teinte cuivre type s'obtient en mélangeant 20 centimètres cubes de fuchsine à 0 gr., 01 par litre et 30 centimètres cubes de chromate neutre de potasse à 0 gr., 500 par litre et complétant à 150 centimètres cubes au moyen d'eau distillée.

B) *Il surnage une couche huileuse sur l'eau salée.*

1° Prendre 100 centimètres cubes d'alcool, les mettre dans une boule à décanter d'un litre environ avec 500 centimètres cubes d'eau salée et 50 centimètres cubes d'eau environ ; agiter, puis laisser reposer.

2° Séparer la solution alcoolique aqueuse de la couche d'huiles essentielles et l'introduire dans une boule à décanter d'un litre ;

3° Mesurer le nombre N de centimètres cubes d'huiles essentielles insolubles ;

4° Opérer ensuite sur le liquide alcoolique comme il a été dit en A ; on obtiendra alors pour les huiles essentielles dissoutes un nombre n de centimètres cubes d'acétates.

Le titre sera la somme des deux nombres $N + (n \times 0,8)$.

Pièce annexe B

DOSAGE DE L'ALCOOL VINIQUE DANS LES HUILES ESSENTIELLES

1° Mettre 500 centimètres cubes d'huiles essentielles dans un entonnoir à décantation d'un litre ;

2° Ajouter 150 centimètres cubes d'eau salée, agiter énergiquement et décanter cette eau dans un entonnoir à robinet d'un litre.

Faire trois autres traitements semblables et réunir toutes les eaux de lavage ;

3° Agiter avec 125 centimètres cubes de sulfure de carbone et répéter quatre fois ce traitement, afin d'enlever au liquide les alcools butylique et amylique pouvant être en solution ;

4° Le sulfure de carbone ayant été séparé après chaque épuisement, filtrer la solution aqueuse sur un filtre mouillé, puis l'introduire dans un ballon d'un litre ;

5° Distiller le liquide et recueillir 250 centimètres cubes ;

6° Prendre le degré alcoométrique et la température, ramener à 15° au moyen de tables de correction et diviser par 2 pour avoir la teneur pour 100 en alcool.

Ce nombre sera corrigé, s'il y a lieu, de la teneur en alcool propylique, dont le dosage sera pratiqué ainsi qu'il est dit dans l'instruction pour l'alcool vinique.

Pièce annexe C

DOSAGE VOLUMÉTRIQUE DE L'ACÉTONE DANS LES MÉTHYLÈNES

L'essai nécessite la préparation des liqueurs suivantes :

Dissolution 1/5 normale d'iode

Peser exactement 127 grammes d'iode pur bi-sublimé et les dissoudre avec 250 grammes d'iodure de potassium dans de l'eau distillée ; amener la solution au volume de 5 litres à 15°.

Dissolution 1/20 normale d'hyposulfite de soude

Dissoudre 62 gr, 025 d'hyposulfite de soude pur, *séché à l'air*, dans de l'eau distillée ; amener la solution au volume de 5 litres à 15° après addition de 15 centimètres cubes de soude.

Solution d'acide sulfurique

Liqueur contenant 100 grammes d'acide sulfurique pur par litre.

Solution de soude

Liqueur contenant environ 80 grammes de soude NaOH par litre.

Empois d'amidon

Délayer 5 grammes d'amidon dans 500 centimètres cubes d'eau distillée ; faire bouillir une heure environ, puis compléter un litre avec de l'eau salée.

Pratique de l'essai

1° Mesurer exactement 20 centimètres cubes de méthylène, verser dans un ballon d'un litre à demi rempli d'eau distillée ; compléter à un litre avec de l'eau, puis agiter vigoureusement pour rendre homogène.

2° Introduire 30 centimètres cubes de soude dans un flacon de 250 centimètres cubes à essai d'argent ;

3° Ajouter 20 centimètres cubes de solution diluée de méthylène ;

4° Verser N centimètres cubes de solution d'iode (35 centimètres cubes environ) ; laisser réagir 10 minutes au moins en agitant ;

5° Verser 30 centimètres cubes de liqueur sulfurique au moins, de façon à rendre la liqueur acide ;

6° Laisser tomber ensuite la liqueur d'hyposulfite jusqu'à ce que la décoloration soit presque complète ; à ce moment ajouter 4 à

5 centimètres cubes d'empois d'amidon et continuer à verser la solution d'hyposulfite jusqu'à complète décoloration.

Noter le nombre de centimètres cubes employés, soit n ce nombre, et chercher sa valeur en centimètres cubes d'iode (la solution d'hyposulfite étant 4 fois plus faible que celle d'iode, il convient pour arriver à l'équivalence, de diviser par 4 le nombre n);

7° Soustraire ce nombre $\frac{n}{4}$ du nombre N c. c. d'iode employés, et multiplier la différence par 0,6073.

La formule $\left(N - \frac{n}{4}\right) \times 0,6073$ donne la quantité d'acétone p. 100 contenue dans le méthylène.

Pour que le dosage ait toute l'exactitude désirable, il est nécessaire que $\frac{n}{4}$ soit au moins égal à 10 centimètres cubes de liqueur d'iode.

Exemple:

$$N = 49 \text{ c.c. } 55, n = 41 \text{ c. c, } 8, \frac{n}{4} \; 10 \text{ c. c. } 45$$

$$N - \frac{n}{4} = 49,55 - 10,45 = 39,10$$

$$39,10 \times 0,6073 = 23,71 \text{ p. } 100 \text{ d'acétone.}$$

Nota. — Si un essai à blanc fait avec la soude indiquait que cette soude renferme des nitrites, il y aurait lieu de tenir compte dans les essais de la correction due à la présence de ces nitrites.

Pièce annexe D

DOSAGE VOLUMÉTRIQUE DE L'ACÉTONE DANS LES ALCOOLS DÉNATURÉS

1° Prendre exactement 50 centimètres cubes d'alcool dénaturé au moyen d'une pipette à deux traits ;

2° Laisser tomber dans un ballon de 500 centimètres cubes à demi rempli d'eau distillée ;

3° Compléter jusqu'au trait par addition d'eau distillée, puis agiter pour rendre homogène ;

4° Prélever 20 centimètres cubes de cette solution et laisser tomber dans un flacon de 750 millimètres cubes bouché à l'émeri, dans lequel on a préalablement mis 25 centimètres cubes de solution de soude à 80 grammes par litre ;

5° Ajouter ensuite 250 centimètres cubes d'eau distillée, puis N centimètres cubes d'iode 1/5 normal (45 centimètres cubes environ) et agiter ;

6° Laisser réagir pendant quinze minutes *au moins* et vingt minutes *au plus* à une température comprise entre 15 et 20° centigrades, rendre acide par l'addition de 25 centimètres cubes d'acide sulfurique à 100 grammes par litre;

7° Verser la solution d'hyposulfite 1/20 normale jusqu'à presque complète décoloration, ajouter quelques centimètres cubes d'empois d'amidon et achever la décoloration;

8° Noter le nombre *n* de centimètres cubes employés;

9° Diviser ce nombre *n* par 4 pour avoir la valeur en centimètres cubes de l'iode non employé (ce nombre $\frac{n}{4}$ doit toujours être au moins égal à 10 centimètres cubes);

10° Retrancher le quotient trouvé du nombre N et multiplier cette différence par 0,12146 pour avoir l'acétone p. 100 en volume dans l'alcool essayé.

$$\left(N - \frac{n}{4}\right) 0{,}12146 = \text{acétone p. } 100.$$

Exemple:

$$N = 44 \text{ c. c. } 1, \quad n = 44 \text{ c. c. } 1.$$

$$N - \frac{n}{4} = 44 \text{ c. c. } 1 - \frac{44 \text{ c. c. } 4}{4} = 33 \text{ c. c. } 0.$$

$$33 \text{ c. c. } 0 \times 0{,}12146 = 4{,}0 \text{ p. } 100 \text{ d'acéton}$$

Pièce annexe E

DOSAGE DES IMPURETÉS MÉTHYLIQUES DANS LES METHYLÈNES COMMERCIAUX, PROCÉDÉ BARILLOT

Instrument nécessaire :

Tube de Rœse dont la partie inférieure est jaugée à 50 centimètres cubes et dont la boule supérieure est environ de 200 centimètres cubes.

La tige réunissant ces deux parties est divisée en centimètres cubes et dixièmes de 50 à 55 centimètres cubes.

Mode opératoire :

1° Mesurer très exactement à la température de 15° un volume de 50 centimètres cubes de chloroforme pur au moyen d'une pipette à deux traits et à robinet. Introduire ce chlorotorne dans le tube de Rœse;

2° Préparer d'autre part le mélange suivant :

25 centimètres cube de méthylène;

38 centimètres cubes de bisulfite de soude à 1,35 de densité;

12 centimètres cubes d'eau;

Refroidir ce mélange vers 15°, puis le verser dans le tube, fermer au moyen du bouchon rodé, retourner l'appareil et agiter fortement, laisser reposer, et lire l'augmentation de la couche chloroformique à la température de 15°.

3° Multiplier ce nombre par 4 pour exprimer la valeur des impuretés méthyliques p. 100 de méthylène.

La quantité de ces impuretés évaluées par la méthode ci-dessus devra être au minimum de 5 p. 100.

Ces impuretés devront être entièrement dues à des produits de distillation du bois; toute autre matière, de quelque nature qu'elle soit, ajoutée au méthylène dans le but de fausser les indications du chloroforme, entraînera le rejet du méthylène.

CHAPITRE III

La Fermentation.

(104) *La fermentation en général.*

Depuis que l'homme connaît les boissons fermentées, c'est-à-dire de temps immémorial, *la fermentation* est connue et a été observée. Son nom, qui vient de *fervere* bouillir, montre que depuis longtemps, on avait observé le phénomène d'ébullition qui se manifeste dans cette réaction; et, dans tout le moyen-âge, les alchimistes ont confondu ee phénomène avec l'effervescence produite par l'action des acides sur la craie. Van Helmont fut le premier à élever des doutes sur cette con fusion, puis Lémery, qui chercha à y mettre un peu d'ordre; mais il faut arriver à Lavoisier pour avoir une explication scientifique et expérimentale de la fermentation. Néanmoins, lui, ainsi que Gay-Lussac, tout en constatant la nature des réactions, ignoraient les vraies causes de la fermentation qu'ils attribuaient à des forces catalytiques, et malgré la découverte par Cagniard-Latour de la vitalité des levures en 1828, découverte confirmée peu après par Schwann, la théorie de la fermentation était restée au même point, ou même un peu plus embrouillée.

Ce n'est qu'à partir de 1860, grâce aux immortels

travaux de Pasteur, que la théorie *vitaliste* des fermentations est définitivement établie.

Aujourd'hui, le mot *fermentation* désigne une série de phénomènes chimiques, se développant sous l'influence d'un organisme vivant. Sans cellules vivantes, pas de fermentation.

Le dédoublement du glucose en alcool peut être obtenu sans l'intermédiaire de corps organisés : en le chauffant à 100° avec une solution de soude, on le convertit en lactate de sodium, puis en lactate de chaux, et ce dernier, distillé à sec en présence d'un excès de chaux donne du carbonate de chaux et de l'alcool (1). Duclaux a montré que ce dédoublement pouvait se faire sous l'influence de la lumière. Ce ne sont pas là des fermentations, mais de simples réactions relevant de la chimie générale.

Dans d'autres expériences, M. Pasteur a démontré que ce dédoublement pouvait se faire sous l'influence des cellules végétales : des fruits, par exemple, placés à l'abri de l'air dans une atmosphère d'acide carbonique, consomment une partie de leur sucre, qu'ils transforment en alcool et en acide carbonique. Ce dernier phénomène est une véritable fermentation, de même d'ailleurs que la plupart des réactions de la chimie biologique.

Néanmoins, on n'applique en général le mot de *fermentation*, qu'aux réactions produites par les végétaux inférieurs unicellulaires ou *microbes*, et à quelques champignons inférieurs, les *moisissures* ou *mucédinées*. Chacune des espèces de ces organismes spéciaux possède des propriétés particulières, donnant lieu à des réactions différentes; l'étude de leur structure, de leur morphologie, de leurs réactions forme la *microbiologie*, branche nouvelle de la science toute moderne de la biologie, et qui a eu pour point de départ la fermentation alcoolique sous l'influence de la levure de bière.

Ce mot de fermentation, en dépit de son origine, s'applique également aux réactions produites par les

---

(1) Les formules de ce dédoublement sont :

$$C^6H^{12}O^6 + 2\,NaHO = 2\,H^2O + 2\,C^3H^5O^3Na;$$

et

$$C^3H^6O^3 + CaO = CaCO^3 + C^2H^6O.$$

organismes microbiens, même lorsqu'ils ne produisent aucune effervescence. Telle la fermentation acétique.

On a même étendu le mot fermentation aux réactions produites par les *diastases*, que l'on nomme souvent *ferments solubles;* il y aurait bien quelques réserves à faire à ce sujet, mais ces phénomènes sont si concomitants avec les fermentations véritables, nous aurons à les examiner ensemble dans tant de cas, que nous ne repoussons pas cette définition.

(**105**). *La Formule de Pasteur.*

Au moment où Pasteur fit ses premiers travaux sur la fermentation (1858 à 1860), les différences de composition entre les différents sucres étaient à peine établies, et quoique la formule du sucre inverti ou du glucose fut bien connue, on était si peu sûr d'avoir un glucose pur, qu'il préféra faire ses expériences en partant du sucre de canne cristallisé et pur, dont la composition, bien déterminée et toujours semblable à elle-même, ne pouvait laisser subsister aucun doute. On savait seulement alors, d'après l'observation de Dubrunfaut, que le sucre de canne n'était pas directement fermentescible et se transformait d'abord en glucose, et que la formule de Gay-Lussac voir (**81**), devait s'écrire :

$$C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O = 2C^6H^{12}O^6 = 4CO^2 + 4C^2H^6O$$

c'est-à-dire qu'à 100 parties de sucre cristallisable correspondaient 105,26 parties de glucose, qui, d'après cette formule, auraient dû donner :

Alcool 53,80 + Acide carbonique 51,46 = 105,26 de glucose.

Dubrunfaut avait même observé que l'équation précédente ne satisfaisait pas absolument les résultats d'expériences par le dosage de l'acide carbonique et de l'alcool produits. La présence de l'acide succinique avait aussi été signalée par le docteur Schmidt, et, ainsi que l'observation précédente, était passée presque inaperçue, lorsque Pasteur dans son Mémoire (*Annales*

de Chimie et de Physique, 3me série, t. LVIII, p. 330), fixa ainsi qu'il suit les résultats de la fermentation :

100 parties de sucre de canne correspondant à 105,26 parties de sucre de raisin donnent à peu près :

Alcool	51,11	
Acide carbonique	48,89	(1)
	0,53	(2)
Acide succinique	0,67	
Glycérine	3,16	
Matière cédée à la levure	1,00	
Total	105,36	

De sorte que : sur 100 parties de sucre de canne 95 environ se décomposent en alcool et acide carbonique, suivant la formule de Gay-Lussac, et 5 parties forment l'acide succinique, la glycérine, ou s'assimilent à la jeune levure.

Depuis (3), et se basant sur un plus grand nombre d'expériences, M. Pasteur a établi comme moyenne des produits de la fermentation de 100 parties de sucre de canne :

Alcool	51,10
Acide carbonique	49,20
Acide succinique	0,65
Glycérine	3,40
Matières cédées à la levure, etc.	1,30
Total	105,65

Ces deux formules, on le voit, diffèrent fort peu, mais on y remarque que le total qui devrait être égal à 105,26 poids du glucose, lui est sensiblement supérieur.

Nous n'aurons pas en pratique, à tenir compte de ces petites différences, mais nous pouvons les justifier au moins en partie, ainsi que l'augmentation de poids pendant la fermentation.

(1) Quantité conforme à l'équation de Gay-Lussac (Schützenberger).

(2) Excès sur l'équation de Gay-Lussac (Schützenberger).

(3) Microbiologie par M. Duclaux (Encyclopédie chimique de Frémy).

La première de ces justifications a été donnée par Pasteur lui-même pour enlever tous les doutes qui pouvaient s'élever sur les résultats de ses analyses, et par la formule suivante :

$$49C^{12}H^{22}O^{11} + 109H^2O = 24C^4H^6O^4 + 144C^3H^8O^3 + 60CO^2$$

c'est-à-dire que : 4 gr. 5 de sucre candi en se détruisant suivant cette équation donnent :

Acide succinique.	0,760
Glycérine.	3,607
Acide carbonique.	0.708
Total.	5,075

chiffres qui diffèrent peu de ceux de l'expérience pour une fermentation de 100 grammes de sucre.

Si nous écrivons cette équation en tenant compte de la transformation du sucre en glucose, elle devient :

$$49C^6H^{12}O^6 + 30H^2O = 12C^4H^6O^4 + 72C^3H^8O^3 + 30CO^2$$

Dans laquelle : 30 H^2O, font ressortir l'augmentation de poids.

Un peu plus tard, M. Monoyer partant également du sucre candi, a cherché à remplacer la formule précédente un peu complexe par l'équation suivante plus simple :

$$2C^{12}H^{22}O^{11} + 5H^2O = C^4H^6O^4 + 6C^3H^8O^3 + 2CO^2 + O.$$

équation (1) qui a l'avantage de mettre en évidence la production de l'oxygène nécessaire à la respiration de la levure comme nous le verrons bientôt. Nous pouvons également transcrire cette formule en partant du glucose :

$$4C^6H^{12}O^6 + 3H^2O = C^4H^6O^4 + 6C^3H^8O^3 + 2CO^2 + O$$

ce qui fait ressortir l'augmentation de poids des résidus de la fermentation sur le poids du glucose.

---

(1) Nous n'avons pu nous procurer la formule originale de M. Monoyer, et dans les ouvrages que nous avons consultés, nous l'avons trouvée ou inexacte ou incomplète. Celle que nous donnons nous semble être la véritable.



Les proportions des corps produits restent à peu près les mêmes dans les deux réactions et leurs différences rentrent dans la limite des erreurs d'analyse.

Nous ne devons pas oublier d'ailleurs que dans l'état actuel de la science, il est impossible de formuler exactement un phénomène vital qui est l'ensemble d'un grand nombre de réactions simultanées, réactions qui ne se produisent pas toujours dans les mêmes proportions réciproques suivant les conditions de milieu, suivant la variété de levure, etc. Aussi ne devons-nous considérer les équations précédentes que comme des interprétations approchées de réactions partielles dont l'ensemble donnerait la véritable équation. Or, dans chaque fermentation, cette équation est assujettie aux variations de détail qui accompagnent les phénomènes de la vie, nous la verrons varier pour une même levure dans un même sucre, en étudiant les conditions de la vie des levures. Enfin, comme l'a dit M. Pasteur :

« En ce qui concerne la fermentation alcoolique, qui comporte plusieurs levures différentes, il existera, pour un sucre donné, autant d'équations générales qu'il y a de ces levures, que ce soient des cellules de levures proprement dites, ou des cellules d'organes d'êtres vivants, agissant à la manière de ces levures.

« C'est ainsi que l'équation de la la nutrition n'est pas la même chez des animaux différents qui se nourrissent d'un même aliment ».

Nous verrons aussi que ces réactions ne sont pas les seules qui se produisent, mais ce sont les principales, et la formule de Pasteur interprête avec une correction absolue de chiffres les résultats des fermentations normales telles que nous devons chercher à les produire en distillerie.

Nous pouvons dire que sa formule est la base de notre industrie, car c'est par son interprétation que nous pouvons calculer le rendement maximum des diverses matières premières, rendement théorique duquel tous nos efforts doivent tendre à nous rapprocher. C'est pourquoi nous nous sommes étendus sur sa discussion, un peu plus peut-être que ne ne comporte ce simple manuel, mais encore insuffisamment à notre gré. Nous avons passé, et nous passerons sous silence dans la suite

de cette étude, la théorie de la fermentation de Liebig et les autres théories d'un certain nombre de chimistes allemands qui, comme dit Maercker, « n'ont pu se résoudre à accepter les théories de Pasteur sur la fermentation ». Quoique ayant l'air d'accepter cette dernière théorie, Maercker s'étend assez complaisamment sur les théories de ses compatriotes, théories, nous devons le dire, appuyées d'études fort remarquables d'ailleurs. Nous mettons nos lecteurs en garde contre ces interprétations qui ont toutes été réfutées, soit par Pasteur lui-même, soit par ses nombreux élèves, tant en France qu'à l'étranger, et réfutées de façon indiscutable, au moins tant qu'aux grandes lignes.

Ces contradictions n'ont d'ailleurs pas été stériles, car elles ont fait approfondir la question dans ses nombreux détails, donnant à la théorie vitaliste de Pasteur une nouvelle extension que l'on peut constater chaque jour par le nombre des mémoires qui nous font pénétrer plus avant dans l'inconnu des réactions biologiques (1).

(**106**) *Rendements théoriques déduits de la formule de Pasteur.* *Rendements industriels.*

Si nous comparons les formules du sucre, nous trouvons table (**52**) :

A 100 gr.	de saccharose	correspondent	105,26 gr.	de glucose;
ou à 100 »	de glucose	»	95 gr.	de saccharose.
A 100 gr.	de saccharose	correspondent	94,74 gr.	d'amidon;
ou à 100 »	d'amidon	»	105,56 »	de saccharose.

Or, d'après la formule de Pasteur, 100 grammes de saccharose donnent par fermentation 51,10 gr. d'alcool, appliquons ce rendement aux différents sucres et divisons par 0,79433, densité de l'alcool absolu, pour avoir les volumes d'alcool, nous aurons :

100 gr.	de saccharose	donnent	51 gr.,10	ou 64 lit.,33	d'alcool
100 »	glucose	»	48 gr.,54	ou 61 lit.,10	»
100 »	d'amidon	»	53 gr.,94	ou 67 lit.,90	»

(1) Bibl. « *Microbiologie*, par M. Duclaux; *Annales de l'Institut Pasteur; Comptes rendus de la Société de biologie, etc.*

Ces rendements sont les rendements maxima ; ils n'ont été atteints que dans des expériences de laboratoire conduites avec la plus grande rigueur scientifique, et par des expérimentateurs exercés à éviter toute présence de ferments étrangers, à éviter toutes pertes, et munis d'un outillage complet contrôlant tous leurs résultats. Nous pouvons donc les considérer comme le maximum dont nous devons tendre à nous rapprocher dans nos fermentations industrielles où nous avons de nombreuses causes de pertes, et dans les sucres, et dans les évaporations d'alcool, et dans les ferments étrangers. Aussi avec M. Durin, nous pouvons considérer comme rendements pratiques les chiffres suivants qui concordent avec les rendements industriels des meilleures usines.

Pour 100 kilogrammes de	Bon rendement en litres d'alcool à 100°	Très bon rendement en litres d'alcool à 100°
Saccharose	60	61
Glucose	57	58
Amidon ou fécule . .	63	64

Ce sont même ces chiffres que l'on devra appliquer aux analyses courantes des matières sucrées par fermentation, à moins d'avoir un laboratoire suffisant et la pratique nécessaire pour opérer avec levures pures, conditions qui se rencontrent rarement en industrie, et sont peu compatibles avec la rapidité d'analyse qu'exige une fabrique.

Il faut aussi se mettre en garde contre les résultats, et ne pas annoncer des rendements industriels supérieurs aux formules de Pasteur comme cela a été fait plusieurs fois, et entre autres pour des rendements de pommes de terre ; dans tous ces résultats pompeusement annoncés on peut relever ou une erreur de calcul ou une erreur d'analyse, souvent les deux. Avant d'annoncer des chiffres qui mettraient en discussion la formule de Pasteur, on devrait indiquer toutes les circonstances permettant de les vérifier ; on ne doit pas oublier de doser les sucres qui se trouvent à côté de la

fécule, on ne doit pas négliger l'action des acides faibles ou des diastases sur les produits pectiques ou la cellulose très divisée, etc. Enfin on doit tenir compte du poids et de la nature de tous les sucres mis en fermentation.

(107) *La levure de bière.*
Son développement. — Formation des spores.

Pour étudier les ferments alcooliques, nous prendrons comme type la levure de bière, le plus répandu de ces ferments dans l'industrie et le commerce. Pour cette étude il faut se servir du microscope, un grossissement [1] d'environ 400 diamètres est le plus convenable.

Prenons la levure pressée du commerce, un fragment est rapidement délayé dans un peu d'eau distillée, une goutte du liquide mise sur une lame de verre et recouverte de la lamelle couvre-objet est portée sous le microscope. Les globules se présenteront sous forme ronde ou plutôt ovale ainsi que l'indique la figure 6. Le contour de cette levure au repos n'est pas régulier, sous l'influence de la dessiccation, en l'absence de vie active, la levure s'est ratatinée sur elle-même, son protoplasma s'est contracté.



Fig. 6
Levure au repos.

Au lieu de la simple lame de verre prenons maintenant une chambre humide de Ranvier (fig. 7).

C'est une lame de cristal dépolie, un peu plus épaisse que les lames ordinaires, dans laquelle on a creusé une

---

1. Ne pas chercher dans un microscope un fort grossissement souvent plus gênant qu'utile, ce que font en général les débutants. On a besoin d'un fort grossissement seulement pour l'étude des bactéries et des bacilles. Aux distillateurs qui désireraient se munir d'un microscope nous dirons : « Adressez-vous à une bonne maison française qui s'occupe de cette spécialité, *Chevalier*, *Nachet*, *Verick*, où vous serez servis en conscience. Avec un bon statif, un oculaire et deux objectifs, l'un pour les levures, l'autre pour les bactéries, vous serez montés très suffisamment et à peu de frais. Il faut se défier des appareils à bon marché et ne pas oublier que la grande netteté de l'image est plus importante qu'un fort grossissement ».

profonde rainure circulaire *d*. Le petit cylindre de verre *s* est usé et poli de telle sorte que sa surface soit à un ou deux dixièmes de millimètre au-dessous de la surface de la lame. Pour étudier notre levure, nous plaçons sur le centre du cylindre une goutte d'un liquide

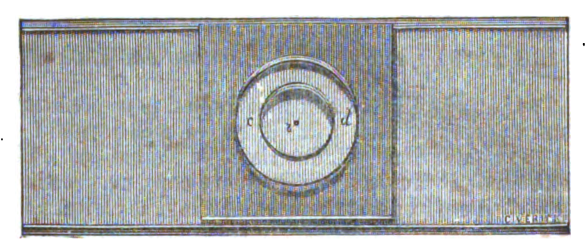


Fig. 7. — Chambre humide de Ranvier.

nutritif stérile (dont nous verrons plus loin la préparation), puis à l'aide d'un fil de platine flambé, une parcelle aussi petite que possible de levure, et nous appliquons sur le tout une lamelle couvre-objet après avoir enduit très légèrement de vaseline le pourtour de la rainure, ce qui empêche le glissement de la lamelle et prévient l'évaporation du liquide. La préparation est portée sur la platine du microscope. On examine, et lorsqu'on a trouvé une cellule de belle apparence, on fixe la préparation sur la platine à l'aide des valets pour être sûr d'observer toujours le même point. Si la température est inférieure à 20°, on porte le microscope à l'étuve maintenue entre 20 et 25°, puis de quart d'heure en quart d'heure on va examiner et l'on assiste ainsi à tous les détails du développement de la levure. Au bout de fort peu de temps, et avec une température convenable, on voit d'abord que la cellule s'est gonflée. Peu après, en un point du globule de levure, quelquefois en deux points, on voit apparaître un bourgeon. Ces nouveaux globules naissent plutôt vers les extrémités de la cellule mère, soit à chaque extrémité, soit deux à la même, mais rarement tout à fait l'extrémité, ainsi que l'indique la figure 8. En même temps, on voit apparaître dans l'intérieur de la cellule mère une vacuole, quelquefois deux, mais inégales, qui rem-

placent la partie du protoplasma qui a servi à élaborer les cellules filles.

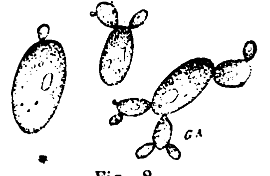
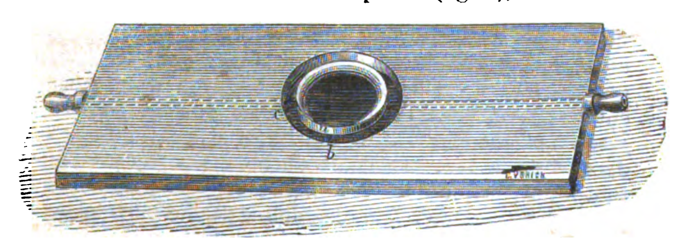


Fig. 8.
Bourgeonnement de la levure.

Les cellules-filles augmentent de volume jusqu'à atteindre le volume de la cellule primitive dont alors elles se détachent, mais n'attendent pas cet accroissement pour donner elles-mêmes naissance à de nouveaux bourgeons.

Dans de bonnes conditions, une même cellule peut produire plusieurs générations, mais on lui voit perdre peu à peu son protoplasma, on n'aperçoit plus que des granulations nageant dans le liquide des vacuoles qui envahissent tout le globule. La cellule-mère meurt alors, sa membrane se rompt, et le suc granuleux se répand dans le liquide nutritif. Si l'on a pu faire cette expérience dans une chambre humide permettant le renouvellement de l'atmosphère (fig. 9), la fructification continue jusqu'à l'épuisement complet du liquide sucré. Dans ces conditions, la reproduction marche si rapidement, qu'en deux heures un globule de levure peut en reproduire de 3 à 5.


Fig. 9. — Chambre humide à gaz de Ranvier.

Si l'on continue jusqu'à l'épuisement du liquide nutritif, on voit la végétation s'arrêter puis les globules se ratatinent, ils reprennent leur aspect primitif.

En l'absence d'air, ou si dans cette dernière chambre humide nous remplaçons l'air par de l'acide carbonique, les cellules ne meurent pas tant que le liquide est nutritif, la fermentation se continue, mais les cel-

lules ne se multiplient pas sensiblement, la production de nouvelles cellules devient difficile à constater au microscope.

Le procédé de reproduction par bourgeonnement est le plus habituel de la levure, mais il n'est pas le seul; dans certaines conditions le *saccharomyces cerevisiæ* se reproduit par spores ainsi que l'a montré Rees en 1869. Le moyen le plus simple de mettre en évidence ce mode de fructification a été donné par M. Engel.

On gâche du plâtre à mouler fin que l'on coule sur un verre à vitre pour avoir une face bien lisse, et l'on taille ce bloc de telle sorte qu'il puisse entrer dans un cristallisoir en laissant, entre lui et les parois de ce dernier, une rainure de 2 centimètres environ.

On prend alors de la levure très fraîche, on la décante le plus possible du liquide nutritif et on la délaye dans de l'eau distillée pour obtenir une bouillie très fluide; on verse quelques gouttes de cette bouillie sur la face polie du bloc de plâtre, en inclinant le bloc rapidement pour répartir le liquide aussi uniformément que possible, et que la couche de ferment ne soit pas trop forte en certains points. On dépose alors le bloc dans le cristallisoir la face polie et chargée de levure en dessus, puis au moyen d'un petit entonnoir, on verse de l'eau distillée dans la rainure jusqu'à ce que le niveau de l'eau reste à 1 centimètre en dessous de la face supérieure du bloc. On recouvre le tout d'une plaque de verre pour éviter les poussières atmosphériques, puis l'on abandonne pendant quelques temps.

Dans ces conditions, la végétation de la levure se trouve arrêtée brusquement et de nombreux changements ne tardent pas à s'opérer dans le protoplasma des cellules. Les plus vieilles meurent. Dans les cellules les plus vigoureuses, le protoplasma se répartit d'abord uniformément dans le globule, puis après 6 à 10 heures on voit apparaître dans chacun d'eux de deux à quatre îlots brillants entourés de granulations. Ces îlots se différencient de plus en plus, deviennent sphériques et, de 15 à 24 heures après, se




Fig. 10.
Formation des spores.

recouvrent d'une membrane mince d'abord, puis qui s'épaissit progressivement jusqu'à laisser voir un double contour. (Pour apprécier ce double contour, il faut un plus fort grossissement). La spore est alors mûre, et il suffit de la semer dans un liquide nutritif pour voir se reproduire le bourgeonnement habituel de la levure, la spore-mère ne se distinguant que par sa forme sphérique et son double contour (fig. 11). Nous verrons par la suite l'importance de ces spores.



Fig. 11.
Germination des spores.

Pour compléter cet examen microscopique des levures, nous devons signaler qu'il existe dans chaque cellule un noyau, mais on ne peut le distinguer dans l'examen des cellules à l'état naturel et sans préparation et coloration spéciales. Les méthodes de coloration sont assez délicates et sortiraient du cadre de cet ouvrage (1), et ce noyau, d'ailleurs, ne nous offre pas d'autre intérêt au point de vue pratique.

(**108**) *Composition chimique de la levure.*

Voici, d'après M. Dumas, la composition élémentaire de la levure rapportée à 100 grammes de matière desséchée et privée de cendres :

Carbone	50,6
Hydrogène	7,3
Azote	15,0
Oxygène et soufre	27,1
	100,0

Cette composition élémentaire sera complète quand nous aurons ajouté que la levure renferme, suivant les divers expérimentateurs, de 3 à 7,5 % de cendres, mais ne nous offre plus qu'un intérêt secondaire depuis que nous savons que la levure est un être vivant, dont la composition varie suivant les conditions du milieu où elle se trouve et les phases de son développement. Il n'en est pas de même de la composition immédiate de

1. Pour ces méthodes de préparation et de coloration voir le *Manuel pratique de microbiologie*, par le docteur H. Dubief, O. Doin, éditeur, à Paris.

la levure et de la composition de sa cendre qui pourrait nous donner de précieuses indications sur sa physiologie. La première composition immédiate a été fournie par Payen :

Matière azotée	62,73
Cellulose	22,37
Graisse.	2,10
Matière minérale	5,80

Les résultats de cette analyse ont été ensuite repris par plusieurs expérimentateurs dont Pasteur, Schlossberger, Liebig et Nœgeli, qui ont trouvé entre eux et avec l'analyse de Payen, des différences telles qu'on ne se les expliquait pas tout d'abord de la part de chimistes aussi habiles et aussi réputés.

Ces différences s'expliquent un peu plus facilement aujourd'hui où nous commençons à avoir une classification des sucres, des matières grasses et des albumines, mais elle n'est pas encore complètement élucidée au moins pour tous les cas. Nous pouvons nous rendre compte des difficultés qu'ont dû éprouver les premiers expérimentateurs, seulement en comparant le peu de différence qui existe entre les compositions des sucres de la dernière classe, les matières pectiques et la cellulose ; or, il existe un peu de tous ces corps dans la levure.

Nous donnerons simplement, d'après M. Duclaux, les résultats de l'analyse immédiate telle qu'elle ressort de l'ensemble de tous ces divers travaux :

Cellulose avec mucilage végétal formant la membrane cellulaire.		37
Matières protéïques	*a*. A l'état d'albumine ordinaire	36
	b. A l'état de combinaisons phosphorées peu stables, analogues à la caséine du gluten . . .	9
Peptones précipitables par l'acétate de plomb. . .		2
Graisse		5
Cendres.		7
Matières extractives		4
		100

Cette analyse se rapporte également à une levure séchée à 100°; si nous voulons nous rendre compte de la composition d'une levure commerciale, nous pouvons comparer les chiffres suivants d'une analyse faite

sur une levure pressée viennoise très fraîche par M. Belohoubek, et donnant les résultats pour la même levure fraîche et séchée :

	LEVURE fraîche	LEVURE desséchée
Eau	68,02	»
Matières azotées	13,10	40,98
Matière grasse	0,90	2,80
Cellulose	1,75	5,47
Matière amylacée	14,10	44,10
Acides organiques	0,34	1,06
Matières minérales	1,77	5,54
Matières sableuses mêlées	0,02	0,05
	100,00	100,00

Dans cette analyse, d'ailleurs assez voisine de la précédente, il ne faut pas conclure à la présence d'amidon dans la levure ; le terme de matière amylacée s'applique seulement à une partie de cellulose ou de mucilages qui s'est transformée en matière amylacée par le mode d'analyse employé.

Pour la composition des cendres de levure, nous donnons ci-dessous l'analyse la plus complète que nous connaissions, c'est celle, faite également par M. Belohoubek, sur les cendres de la précédente :

	CENDRES brutes	CENDRES pures
Acide phosphorique	50,08	51,09
» sulfurique	0,56	0,57
» carbonique	0,41	»
» silicique	1,58	1,60
Chlore	0,03	0,03
Potasse	38,07	38,68
Soude	1,79	1,82
Magnésie	4,09	4,16
Chaux	1,96	1,99
Protoxyde de manganèse	traces	traces
Oxyde de fer	0,06	0,06
Charbon	0,23	»
Sable	0,91	»
	99,98	100,00

De ces cendres 96,13 % étaient solubles dans l'eau.

Comme conclusion de ces analyses, nous voyons que si la question de composition des levures n'est pas encore entièrement résolue, cette composition est fort voisine de la composition des autres cellules végétales et en particulier de celle des champignons ; elle se distingue par sa grande richesse en azote.

(109) *Conditions physiques de la vie de la levure.*

Les différents agents physiques, à l'exception de la chaleur, ne semblent pas avoir une grande influence sur les levures.

La lumière ne semble pas jouer un grand rôle dans leur action, sauf un excès de lumière qui en gêne le développement, comme l'influence directe des rayons solaires ou la lumière électrique, en cela d'ailleurs la théorie n'est guère plus avancée que la pratique qui se contente de la lumière diffuse du jour ou d'une simple lampe. Il semble plus probable qn'une des raisons pratiques qui font exclure la lumière trop vive des salles de fermentation, est que cette dernière facilite le développement de quelques variétés de mucédinées et gène l'action des diastases.

L'action de l'*électricité* n'est pas beaucoup mieux connue, les courants de faible intensité paraissent sans influence ; l'action des courants forts paraît plutôt microbicide, mais est-ce par influence directe sur les microbes, ou par l'action que les décompositions chimiques produites par le courant électrique exercent sur les microbes ? Cette dernière hypothèse nous semble la plus vraisemblable, et on le verra plus nettement lorsque nous examinerons l'influence des milieux acides ou basiques sur la vie des levures.

La chaleur, au contraire, joue un rôle puissant dans la vie de la levure qui suit les règles de tous les autres organismes végétaux, c'est entre 25° et 35° que celle-ci trouve son milieu calorique le plus favorable pour vivre. Plus nous nous éloignerons de ces limites et plus la vie de la levure s'éloignera de la vie normale de ce microbe. Ce n'est qu'entre des températures voi-

sines de 0° et allant à près de 60° que l'on voit s'arrêter complètement la vie des levures, soit de 2° à 3° pour les bières basses jusqu'à 55° pour les levures de raisin des pays chauds, ces limites de vie varient d'ailleurs suivant la variété de levure.

D'autre part, si la vie se trouve arrêtée, le microbe n'est pas tué pour cela dans les mêmes limites de température. Ainsi la levure supporte sans perdre son pouvoir fermentescible un froid de — 60°, et même plus suivant certains expérimentateurs.

La levure fraîche, chauffée vers 66° à 70° meurt, mais, si l'on a soin de la dessécher préalablement à basse température, on peut la chauffer quelques heures à 100° sans la tuer complètement. Les spores de la levure paraissent même résister à des températures beaucoup plus hautes, néanmoins nous ne pouvons croire, d'après les dernières expériences, que ces spores résistent à une température supérieure à 130°, comme on l'avait annoncé. En tout cas, ces spores ne sont pas tuées par une température de 110°, elles sont donc plus résistantes que la cellule mère.

La pression, même excessive, ne tue pas la levure, mais serait capable de l'arrêter; cependant une légère pression semble plutôt favorable à la fermentation.

(110) *Conditions chimiques de la vie de la levure.*

Ces conditions sont un peu plus complexes que les précédentes, nous étudierons donc l'influence de chacun des principaux agents chimiques.

A. — *Eau.* — L'eau est nécessaire à la vie de la levure, et en proportions telles que cette dernière en renferme de 50 à 80 % au moins, suivant la nature du liquide. Dans un sirop ne renfermant plus que 13 % d'eau, la levure meurt, l'eau de ses cellules étant absorbée par le sucre, exactement comme elle meurt si on la dessèche trop brusquement sous l'influence de la température ou d'un corps déshydratant. Si, au contraire, on fait cette déshydratation progressivement, comme nous l'avons vu pour la chaleur, et au moins dans de certaines limites, la fermentation cesse, mais les cellules ne meurent pas pour cela. Ce phénomène a

donné lieu à une fraude curieuse à l'octroi des villes. Dans un vin en pleine fermentation on introduisait un excès de 35 à 40 % de sucre, la fermentation était arrêtée, puis l'octroi franchi, il suffisait de rajouter l'eau nécessaire pour voir la fermentation reprendre, et faire plusieurs pièces de vin avec une seule.

B. — *Sucres.* — La présence d'un sucre est non moins indispensable, c'est le véritable aliment des levures, le saccharomyces étant incapable, comme les végétaux inférieurs, de prendre son carbone à l'acide carbonique de l'air. Mais, si ce sucre est indispensable, il n'est pas indispensable que tout le sucre soit fermentescible, il suffit de traces de ce dernier pour amorcer la fermentation qui ensuite se continuera seule ; en effet, la levure secrète par elle-même une diastase, *la sucrase*, qui produit l'inversion, elle rend elle-même assimilable le sucre dont elle a besoin pour sa nutrition. Il résulte pourtant d'expériences de Dubrunfaut, que la levure doit avoir un choix, une élection spéciale pour certains sucres : si, en effet, on met la levure dans une solution de sucre inverti, la déviation à gauche augmente pendant la première phase de la fermentation. Il semble que la levure consomme plus de dextrose, ou au moins un sucre optiquement neutre, et que ce n'est qu'après avoir épuisé celui-ci qu'elle consomme le sucre gauche. Malgré l'importance de cette question, elle n'a guère été élucidée depuis Dubrunfaut, les recherches en ce sens sont d'ailleurs fort délicates.

Comme nous l'avons vu à la formule de Pasteur, c'est le sucre, qui non seulement fournit les éléments nécessaires à la vie, à la respiration de la levure, mais encore lui qui fournit aux cellules les éléments hydrocarbonés nécessaires à leur organisation et à la confection de leur membrane, éléments qui sont représentés par les celluloses et les matières grasses de l'analyse immédiate.

C. — *Azote.* — La levure, qui se comporte comme une cellule végétale, est comme les végétaux incapable d'assimiler directement l'azote de l'atmosphère, et comme ces derniers elle peut l'emprunter aux sels ammoniacaux. Pasteur a mis ce fait en évidence en semant

de la levure dans une solution de sucre candi additionnée de tartrate d'ammoniaque. Il a prouvé également que dans les jus naturels qui renferment un sel ammoniacal, comme le moût de raisin, il y a absorption d'une grande partie d'ammoniaque pendant la fermentation. Mais si la levure peut vivre et se reproduire avec le concours des sels ammoniacaux, ce n'est pa là son aliment azoté de prédilection.

Comme toutes les cellules végétales, la levure assimile l'azote sous forme de matière albuminoïde végétale dialysable à travers les membranes, et plus nous pourrons lui fournir la substance azotée à un état voisin de cette composition, plus la levure aura de facilité pour vivre et prolifier.

C'est ainsi que la levure se développe avec la plus grande activité dans les moûts de raisin, de bière, de betterave qui renferment de grandes quantités de matières protéiques, solubles dans l'eau bouillante et les acides étendus, alors que l'albumine d'œuf, qui est coagulable par la chaleur et les acides et n'est pas dialysable, ne fournit aucun aliment à la levure. Le serum du sang, coagulé pour le débarrasser de l'albumine, le bouillon de viande, renfermant des matières protéiques solubles et dialysables, donneront un excellent milieu pour la culture des levures, de même les peptones, les diastases.

D. — *Matières minérales.* — La levure ne peut non plus se passer d'un aliment minéral pour sa nutrition, comme l'a prouvé le premier Pasteur, en montrant que la fermentation s'arrêtait en l'absence des sels minéraux. La question n'est pas encore complètement résolue sur l'influence des différents sels et sur leur meilleure proportion dans le liquide nutritif, les travaux qui ont été faits à ce sujet n'étant pas à l'abri de toute critique. Ils gagneraient à être repris en suivant la méthode employée par Raulin pour l'*aspergillus niger*, néanmoins, la question est assez avancée pour nous montrer que ces aliments minéraux doivent se retrouver dans le liquide nutritif, dans des proportions très voisines de celles qui nous sont données par l'analyse des cendres de levure, et dans les mêmes conditions de dosage total, par rapport au poids de la levure.

Parmi ces éléments, le phosphate de potasse tient le premier rang, viennent ensuite la magnésie, puis la chaux, et le mélange qui semble donner les meilleurs résultats pour la fermentation est formé, d'après Mayer, de :

0 gr ,5 de phosphate de potasse
0 gr.,5 de sulfate de magnésie
0 gr.,05 de phosphate de chaux.

pour 100 c.c. de solution sucrée à 15 % de sucre candi.

Les autres produits que nous indique l'analyse des cendres de levure ne se trouveraient plus qu'à l'état de traces dans le liquide analysé directement, et ces traces suffisent à la levure dans des conditions ordinaires.

Ainsi, l'un des éléments indispensables à la levure est le soufre, qui doit entrer dans la composition de son protoplasma comme il entre dans la composition de toutes les matières albuminoïdes ou protéiques; voulant observer la fermentation dans un liquide privé de soufre, M. Mayer n'a pu y parvenir, les sucres les plus purs qu'il ait pu se procurer renfermant encore 0,006 % de soufre, ce qui suffisait à la levure. Ceci prouve combien ces recherches sont délicates et semées d'obstacles souvent imprévus.

L'action des autres sels minéraux a été étudiée par Dumas à l'origine de la question, depuis par de nombreux expérimentateurs, et nous pouvons résumer le résultat de ces expériences en disant que :

1° Les sels minéraux autres que ceux indiqués par l'analyse des cendres de levure ont une influence nuisible ou sont tout au moins inutiles.

2° Pour chaque sel, même pour ceux qui sont indispensables à la levure, il existe une dose maxima qui ne saurait être dépassée sans arrêter la fermentation.

Cette question d'ailleurs n'offre d'intérêt pratique que pour les sels extrêmes du tableau de Dumas, c'est-à-dire pour ceux qui sont nécessaires à la levure, et pour ceux qui, au contraire, la tuent ou arrêtent son pouvoir ferment à faible dose. Nous venons d'étudier les premiers, nous verrons les seconds à l'étude des antiseptiques.

Notons cependant en passant que le sel marin, l'acétate de soude et l'acétate de potasse, ce dernier surtout, arrêtent la fermentation à doses assez faibles.

E. — Substances étrangères. — D'autres substances chimiques peuvent aussi influer sur la fermentation, ce sont en général celles qui peuvent agir, soit comme coagulant du protoplasma, soit comme dissolvant de la cellulose. Nous avons déjà vu l'influence d'un excès de sucre comme déshydratant, l'alcool agit d'une façon analogue. A la dose de 12 à 14 % l'alcool ralentit la fermentation, à environ 20 % il l'arrête, à plus forte dose il peut tuer la levure par dessiccation brusque des cellules. Les acides et les bases en excès ont une action analogue. En petite quantité leur action mérite un peu plus d'attention.

La levure fraîchement pressée accuse toujours une réaction acide qui, traduite en acidité sulfurique, oscille entre 0,0025 et 0,003, du poids de la levure ; donc un milieu neutre ou légèrement acide favorise la fermentation, alors que des petites quantités de base saturant cette acidité la retarderaient simplement, il faudra que les cellules aient sécrété assez d'acide pour saturer ces bases avant de reprendre leur pouvoir ferment. Si la base était introduite dans une fermentation commencée, le dégagement d'acide carbonique viendrait au secours de la levure en formant des carbonates alcalins moins énergiques que l'alcali, et la fermentation pourrait n'avoir subi aucun arrêt réel, quoique, en apparence, on l'ait vu arrêtée pendant quelque temps. On peut mettre ce fait en évidence d'une façon fort élégante en introduisant dans une fermentation du carbonate basique de magnésie ($MgH^2O.MgCO^3.6aq$). Ce sel est alcalin, mais si peu soluble qu'il n'entrave même pas un début de fermentation, et, au fur et à mesure que celle-ci marche, il absorbe l'acide carbonique, se transformant en bicarbonate soluble et sans action, que l'on peut retrouver ensuite dans le liquide filtré. On a une fermentation sans dégagement apparent de gaz.

(111) *Action de l'air sur la vie de la levure.*

Nous avons déjà entrevu dans le *développement de la levure* sous le microscope, l'influence du milieu gazeux. Cette influence, capitale dans l'étude des levures, a été étudiée par Pasteur dans une série d'expériences que nous allons résumer brièvement.

Il ensemença d'abord la levure dans une large cuvette plate, de façon à avoir un liquide sucré en très faible épaisseur et à avoir l'accès de l'air dans les profondeurs du liquide aussi complète que possible, et arrêtait l'expérience dès que, par la prolification de la levure, un dépôt se formait sur le fond de la cuvette permettant un tassement qui eut permis à quelques cellules de vivre à l'abri de l'air. Dans ces conditions, il reconnut que 100 gr. de sucre absorbé avaient donné naissance à 25 gr. de levure sèche (1), il y a eu dégagement d'acide carbonique, mais on ne trouve dans la liqueur que des traces d'alcool, et il semble même qu'il n'y en aurait pas eu du tout s'il avait été possible d'entourer chaque cellule en bourgeonnement de l'air nécessaire.

La même expérience répétée, mais en laissant achever la fermentation jusqu'à disparition complète du sucre, ne donne plus que 10 gr. de levure sèche par 100 gr. de sucre employé, mais nous trouvons de l'alcool en quantité appréciable.

Répétant la même expérience de culture plate dans un grand matras à fond plat, mis en communication avec l'atmosphère par un tube recourbé et sinueux, Pasteur trouva que pour 100 gr. de sucre il ne s'était produit qu'environ 4 gr. 5 de levure sèche, et la proportion d'alcool produite augmente encore. C'est que l'acide carbonique dégagé a peu à peu chassé l'air du ballon et formé un milieu anaérobie.

Prenant ensuite le même matras, mais mettant le liquide en épaisseur, la fermentation fut plus longue, 100 gr. de sucre avaient fourni environ 1 gr. 33 de

(1) Dans toutes ces expériences, les poids de levure se rapportent à la levure séchée à 100°. On pourra se donner une idée assez approchée des poids en levure fraîche en comptant que les levures pressées du commerce renferment 75 % d'eau, ce chiffre est même en-dessous de la moyenne qui est plus près de 76.

levure, la proportion d'alcool était augmentée. On se trouvait dans les conditions industrielles. Le liquide était aéré au début et avait encore un petit matelas d'air que l'acide carbonique n'a pas tardé à chasser il est vrai, mais où les cellules ont pu puiser pour les besoins de leur bourgeonnement.

Poussant les choses plus loin, Pasteur fit des fermentations en se mettant d'une façon aussi absolue que possible à l'abri de l'air ; dans ces conditions les fermentations deviennent presque interminables, et la proportion de levure formée diminue encore, on n'en trouve plus que 1 pour 176 de sucre. On voit donc par cette série d'éxpériences que le pouvoir de reproduction des cellules va en diminuant avec la privation d'air, en même temps que le pouvoir *ferment* de la levure augmente, jusqu'au point où, par privation absolue d'air, la levure ne peut plus se multiplier ; les cellules vieillissent vite alors, et faute de vigueur la fermentation finit même par s'arrêter. Donc la levure n'est ni un végétal aérobie, ni un végétal anaérobie. il lui faut très peu d'air, mais il lui en faut, et la fermentation n'est que la conséquence de sa vie ordinaire.

En 1861, Pasteur disait : « En résumé, la levure de « bière se comporte absolument comme une plante or- « dinaire, et on peut espérer rencontrer des conditions « dans lesquelles certaines plantes inférieures vivraient « à l'abri de l'air en présence du sucre, en provoquant « alors la fermentation de cette substance à la ma- « nière de la levure de bière. »

En 1870, il prouva la justesse de son hypothèse, non seulement à propos des plantes inférieures, mais aussi avec les végétaux supérieurs. Des fruits placés par lui sous une cloche remplie de gaz carbonique perdirent du sucre et donnèrent de l'alcool et un dégagement d'acide carbonique, alors que des fruits semblables laissés à l'air pendant le même temps avaient achevé leur maturation. Dans l'intérieur de ces fruits pas de trace de levure, donc ce sont les cellules du fruit même, qui, dans ces conditions anaérobies, ont provoqué la fermentation.

Peu après, M. Muntz a montré la production d'alcool dans l'intérieur de champignons placés dans l'acide

carbonique, puis dans des plantes placées dans une atmosphère d'azote, betteraves, maïs, géranium, choux, branches d'arbres, etc.

Enfin, M. Béchamp a trouvé de l'alcool dans différents tissus animaux et entre autres dans un foie de mouton, dans des cerveaux de mouton et de bœufs traités aussitôt après la mort. Donc, la prévision de Pasteur sur la vie anaérobie des cellules, s'étend non seulement aux cellules végétales, mais encore aux cellules animales.

La fermentation alcoolique n'est donc qu'une conséquence de la vie des cellules vivant à l'abri de l'oxygène, et la vie de la levure, son principal agent, peut être comparée à la vie des êtres supérieurs. Nous ne pouvons mieux faire pour montrer ce rapprochement que citer les extraits suivants de la page où M. Duclaux expose les faits avec une clarté saisissante :

« Quand est arrivé, pour un végétal le moment de « fleurir, il semble que la fabrication journalière des « matières organiques dont il est le siège devienne in« suffisante. Du moins on le voit alors, généralement, « consommer avec rapidité la réserve de matériaux « nutritifs qu'il avait accumulés dans ses organes, pen« dant la première partie de son existence. La bette« rave, par exemple, au moment de sa floraison, fait « disparaître activement le sucre qu'elle avait déposé « dans les tissus de sa racine. Une portion de ce sucre « est brûlée et transformée intégralement en eau et en « acide carbonique, pendant qu'une autre portion sert « à fournir les matériaux nécessaires à l'édification « des tissus de la hampe florale, de la fleur et enfin de « la graine. Dans ce phénomène, la consommation « journalière dépasse la production, et, à partir d'un « certain moment, la plante, envisagée en masse, perd « de son poids, et se dépense au lieu de s'accroître, « comme elle le faisait pendant la première partie de « sa vie.

« La graine, à son tour, lorsqu'elle est remise en « terre, y a apporté avec elle, sous forme d'albumen, de « cotylédons, une certaine quantité de matière nutritive « aux dépens de laquelle elle va vivre, tant qu'elle n'aura « pas développé ses organes foliacés et qu'elle n'aura

« pu commencer avec eux son rôle de producteur de « matière organique. Dans une graine qui germe, il y « a aussi perte de poids, destruction complète de la « matière organique, pendant qu'une autre partie s'é- « lève à un degré d'organisation supérieur en formant « les tissus du jeune végétal. »

Et plus loin :

« Le végétal, malgré ses dissemblances profondes « avec l'animal, lui ressemble cependant en ceci que, « comme lui, il est obligé de consommer des aliments « pour se créer de nouveaux tissus ou entretenir la vie « de ceux qui existent déjà. Il ressemble aussi en cela « aux cellules de ferments, qui, privées de chlorophylle, « ont besoin qu'on les nourrisse de l'extérieur. Mais il « diffère du ferment et de l'animal en ce qu'il crée lui- « même l'aliment, dont il consomme une partie, et dont « l'autre sert à l'alimentation de l'animal ou du fer- « ment.

« Ceci nous montre que les aliments doivent être « partout les mêmes. Mais nous pouvons faire un pas « de plus. La betterave, que nous prenions tout à « l'heure pour exemple, dépose, dans les tissus de sa « racine, du sucre cristallisable ; la pomme de terre « remplit son tubercule de fécule, l'orge, son grain d'a- « midon. L'expérience montre que ce sucre cristallisa- « ble et cet amidon sont, sous leur forme actuelle, inas- « similables pour la plante, et qu'avant de servir à « l'usage auquel ils ont été destinés, avant de pouvoir « servir à alimenter les cellules de cette plante, à en « construire de nouvelles, ils doivent subir une trans- « formation préalable à l'aide d'une substance que le « végétal ne secrète pas toujours d'une façon continue, « et qui, le plus souvent, n'y apparaît qu'au moment « où elle va pouvoir être utilisée. La betterave au mo- « ment de la floraison, l'orge au moment de la germi- « nation, font naître dans leurs tissus une diastase qui « transforme le sucre cristallisable en sucre interverti, « l'amidon en dextrine et en maltose, et à l'aide de « laquelle ces matériaux, devenus non seulement solu- « bles, mais assimilables, peuvent entrer dans le cycle « d'évolution des cellules. On peut même remarquer « à ce sujet, que si la betterave produit ainsi du sucre

« cristallisable, et l'orge de l'amidon, c'est précisément
« parce que ces substances sont à ce moment inassimi-
« lables, et sont protégées contre la destruction par l'ab-
« sence de cette diastase sans laquelle elles ne sont pas
« nutritives.

« Ces phénomènes sont-ils particuliers au monde vé-
« gétal ? J'ai prouvé que non, et que l'albumine qui
« entoure l'œuf, la caséine que les femelles des mam-
« mifères secrètent dans leur lait, sont comme le sucre
« et l'amidon, inassimilables sous leur forme actuelle,
« et ont aussi besoin, avant de servir à la nutrition des
« espèces vivantes qui les ont sécrétées, d'une trans-
« formation produite aussi sous l'action d'une diastase,
« et qui s'opère d'ordinaire dans leur canal digestif.

« Cela posé, voici ce qu'il y a de curieux : c'est que les
« ferments, quand ils sont capables de se nourrir aux
« dépens de ces mêmes aliments, sucre candi, amidon,
« caséine, albumine, non assimilables pour les cellules des
« animaux supérieurs, ne le sont que moyennant une
« transformation préalable qu'ils leur font subir, à
« l'aide d'une diastase qu'ils secrètent eux-mêmes, et
« qui semble identique à celles qui agissent chez les
« végétaux et dans le canal digestif des animaux. »

Cette analogie, de la vie des levures avec la vie des cellules vivantes d'êtres supérieurs, est encore accentuée par l'*autophagie* de la levure. En faisant fermenter du sucre avec environ 20 fois son poids de levure sèche, Pasteur a obtenu de 0 gr., 424 de sucre candi, 0 gr., 6 d'alcool, soit un poids supérieur à celui du sucre. Dans les fabriques de levure pressée, on a remarqué depuis longtemps le dégagement de gaz qui se produit dans les cuves de décantation et de lavage des levures, où l'on ne rencontre plus de sucre dans les eaux de lavage, et de ces eaux, par distillation fractionnée, on retire de l'alcool. On peut observer le même phénomène dans des levures pures délayées dans l'eau distillée, mises à l'abri des ferments extérieurs par des traces d'acide phénique, suivant le procédé de M. Béchamp, et dont la pureté est vérifiée et par le microscope et par la pureté de l'acide carbonique dégagé, il y a encore production d'alcool.

Ce fait, d'abord étrange, se trouve éclairci depuis que,

par les expériences de Nægeli, nous savons qu'il existe dans le protoplasma de la levure un produit encore mal défini, sucre, dextrine ou cellulose, dont l'analyse immédiate correspond à la composition de cette dernière, et a été compté comme telle par les premiers analystes. C'est un mucilage que la levure consomme et brûle au lieu de sucre extérieur pour maintenir sa respiration, de même qu'une plante arrachée de son sol nutritif ou privée d'air vit aux dépens de la matière protoplasmique de ses cellules intérieures, de même qu'un animal privé de nourriture ; mais, qu'on rende à la levure son liquide nutritif, à la plante son sol, à l'animal la nourriture, la vie normale reprend son cours, si l'on n'a pas laissé agir la privation jusqu'à l'épuisement complet de la réserve nutritive et à la mort du sujet.

(112) *Les diastases ou ferments solubles. La saccharification.*

Les analogies que nous venons de trouver entre la nutrition de la levure et des êtres supérieurs, nous force à abandonner momentanément l'étude des *ferments vivants*, pour nous occuper *des diastases* ou *ferments solubles*.

Dubrunfaut reconnut le premier l'action saccharifiante du malt et de l'infusion de malt. Peu après, Payen et Persoz isolèrent par l'alcool, de cette infusion, une substance active et capable de « liquéfier et saccharifier simultanément deux mille fois son poids de fécule », produit qu'ils nommèrent diastase. Ensuite Bouchardat, Miahle, et surtout Claude Bernard, ont trouvé dans le pancréas, puis dans la salive, des produits capables d'opérer la même transformation. Berthelot montra ensuite que la fermentation du sucre cristallisable ne se produit qu'après une inversion préalable, provoquée par une substance qu'il isola en précipitant une solution filtrée de levure par l'alcool, et qu'il nomma invertine. D'autres expérimentateurs isolèrent d'autres produits capables de produire d'autres transformations sur les diverses matières organiques animales ou végétales, mais, toujours de façon à rendre ces substances assimilables.

La difficulté de séparer et de purifier ces divers ferments solubles et de les analyser, est telle, que le problème est encore loin d'être résolu, et, par conséquent, les noms ou classifications donnés d'abord à ces produits assez sujets à caution. Aussi, adopterons-nous pour les désigner la nomenclature provisoire indiquée par M. Duclaux, le premier qui ait mis de l'ordre dans l'étude de ces produits.

Le nom de *diastase* est générique de tous ces ferments solubles, et, chacun d'eux prend un nom formé par l'étymologie du corps qu'il transforme auquel on ajoute la terminaison *ase*. Ainsi, la diastase qui rend soluble l'amidon est l'*amylase*, celle qui transforme le sucre cristallisable en sucre inverti prend le nom de *sucrase*, celle qui transforme la maltose en glucose le nom de *maltase*, etc.

Il n'est pas fait d'exception que pour certains diastases qui, comme la *présure*, ont un nom et une fonction ne pouvant prêter à confusion.

Le nombre des diastases est considérable, et chacune d'elles se prête à une fonction spéciale pour rendre assimilables les divers matériaux alimentaires, suivant les nombreux besoins des cellules vivantes. Une même diastase peut aussi se prêter à la transformation de plusieurs corps, et suivant diverses réactions, mais toujours dans le dédoublement de ces corps, on retrouve un sucre assimilable. Ainsi, la *synaptase* que l'on rencontre dans les amandes de presque tous les fruits, produit le dédoublement d'un grand nombre de glucosides tels que: la salicine, l'arbutine, l'amygdaline, la coniférine, etc., en donnant du glucose et un autre produit appartenant, en général, à la série aromatique. Des réactions de la *synaptase*, nous nous bornerons à indiquer les suivantes :

$$\underset{\text{Amygdaline}}{C^{20}H^{27}O^{11}Az} + H^2O = \underset{\text{Glucose}}{2C^6H^{12}O^6} + \underset{\text{Acide cyanhydrique}}{CAzH} + \underset{\text{Aldéhyde benzoïque}}{C^7H^6O}$$

qui explique le goût spécial du kirsch, et de l'alcool des fruits à noyaux amers qui renferment tous de l'amygdaline, et

$$\underset{\text{Coniférine}}{C^{16}H^{22}O^8} + \underset{\text{Eau}}{H^2O} = \underset{\text{Glucose}}{C^6H^{12}O^6} + \underset{\text{Alcol coniférylique}}{C^{10}H^{12}O^3}$$

qui explique le goût vanillé des eaux-de-vies de vin, où l'on rencontre la *synaptase* dans les pépins, et la coniférine dans le raisin ; car, cet alcool coniférylique sous l'influence de l'oxygène donne de la vanilline :

$$C^{10}H^{12}O^{3} + 6O = C^{8}H^{8}O^{3} + 2CO^{2} + 2H^{2}O$$

Alcool coniférylique — Oxygène — Vanilline — Acide carbonique — Eau

C'est également sous l'influence d'une diastase spéciale que la garance est dédoublée en glucose et alizarine ; également sous la même influence que se développent les matières colorantes des raisins, des graines de nerprun, et probablement de l'indigo, ainsi que le dédoublement du tannin de la noix de galle en glucose et acide gallique, etc. Ces diastases, dont les effets sont vérifiés, sont cependant peu connues. On ne sait pas encore bien pour chacunes d'elles, si l'on a affaire à une seule diastase secrétée par la plante, ou à une diastase secrétée par les micro-organismes ou moisissures que l'on rencontre dans toutes ces réactions, ou bien si l'on a affaire à deux diastases réunies. Cette même incertitude règne encore sur les principales diastases, celles qui nous intéressent le plus, celles qui produisent *la saccharification ;* ce sont pourtant les plus étudiées les seules sur lesquelles nous devons nous arrêter, et nous ne savons mieux faire que de reproduire ici, presque intégralement, un travail de M. A. Fernbach (1) sur cette question.

La transformation du sucre cristallisable en sucres assimilables se fait par fixation d'une molécule d'eau, suivant l'équation chimique bien connue :

$$C^{12}H^{22}O^{11} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{12}O^{6}$$

Saccharose — Eau — Dextrose — Lévulose

Le sucre ordinaire peut être interverti en faisant bouillir sa solution pendant quelques instants avec un acide minéral étendu, par exemple avec 1/1000 d'acide sulfurique ou d'acide chlorhydrique ; mais cette interversion peut-être produite par un procédé plus physiologique, en ce sens qu'il se rapproche des conditions

(1) *La Saccharification*, par A. Fernbach — « *La Bière et les Boissons fermentées* », nos 2 et suivants.

de la vie cellulaire en n'exigeant ni l'intervention de la chaleur, ni celle de doses relativement grandes d'acide ; elle peut être produite par la *sucrase* ou *invertine*. Cette sucrase est un produit normal de la vie de la levure, et il est facile de s'en procurer une solution en faisant macérer pendant quelques heures de la levure fraîche dans de l'eau. En mettant quelques gouttes de la macération obtenue en contact avec une solution de sucre, celui-ci est rapidement transformé en sucre interverti, comme on peut s'en convaincre en constatant que la solution sucrée, qui ne réduisait pas primitivement la liqueur de Fehling, a acquis la propriété de la réduire fortement.

La sucrase nous fournit l'exemple d'une diastase agissant par hydratation, c'est-à-dire par fixation d'eau sur la molécule du corps à transformer.

Immédiatement après la sucrase, dans l'ordre de la précision de nos connaissances, il faut placer une diastase industriellement très répandue et bien connue des fromagers, la *présure*, qui est sécrétée en grande abondance dans l'estomac des jeunes mammifères, et qui a pour propriété de coaguler le lait. C'est en étudiant de très près son action que M. Duclaux a pu formuler les lois générales de l'action des diastases, sur lesquelles nous aurons à nous étendre plus loin. Mais, au point de vue chimique, on n'a point de renseignements sur le mode d'action de la présure et on ne peut point l'exprimer dans une formule, la présure agissant sur une matière aussi mal connue que la caséine du lait, et les différences qui existent entre la caséine liquide et la caséine coagulée ne pouvant être nettement formulées.

Voyons donc, avant de passer à l'examen particulier des propriétés de la diastase de l'orge ou amylase, quelles sont les propriétés générales des diastases, et demandons-nous d'abord, si ce sont des corps chimiques, des espèces bien définies. A cette question, nous sommes, dans l'état actuel de la science, obligés de répondre par la négative ; la raison de notre ignorance, c'est qu'il a été impossible de préparer jusqu'ici ces corps à l'état de pureté. Sans qu'il soit nécessaire à notre exposé d'entrer dans le détail des procédés de

préparation des diastases, nous devons donner une idée générale de ces procédés ; ils sont fondés sur la propriété qu'ont ces corps d'adhérer aux précipités produits dans les liqueurs qui les renferment, de la même manière qu'une matière colorante contenue dans un bain de teinture se fixe sur les écheveaux de laine ou de soie plongés dans ce bain. On fait donc une macération des matériaux d'origine végétale ou animale qui renferment la diastase à préparer, et, produisant dans la liqueur obtenue un précipité aussi tenu que possible, le plus généralement au moyen de l'alcool, on entraîne la diastase avec ce précipité. Il s'ensuit que, par le fait même que la diastase, pour se précipiter, a besoin d'un substratum solide sur lequel elle se fixe, on ne peut l'obtenir que dans un état de pureté relatif.

Aussi l'analyse chimique qui, pour les corps organiques cristallisables, c'est-à-dire faciles à purifier, fournit des renseignements précieux sur leur composition, n'est-elle ici d'aucun secours ; elle rend simplement très probable la nature azotée des diastases, sans qu'on puisse cependant formuler une affirmation absolue, ni préciser leur teneur en azote.

Malgré cette impureté du précipité obtenu, dans lequel la matière inerte est en forte proportion, et dans lequel la substance active ne représente souvent qu'une fraction infiniment petite de la matière précipitée, les diastases ainsi préparées présentent un caractère commun tout à fait remarquable ; c'est la disproportion énorme entre le poids de matière active et le poids de substance que cette matière est capable de transformer. Ainsi, par le procédé de C.-J. Lintner, on peut obtenir une amylase dont un milligramme saccharifie en un quart d'heure un gramme d'amidon, et dans ce milligramme de diastase employée, il n'y a probablement pas plus de 1 centième de milligramme de matière active. M. Soxhlet a pu préparer une présure qui, bien qu'impure, était capable de coaguler plus de un million de fois de son poids de lait.

A côté de cette propriété singulière s'en place une autre qui est du plus haut intérêt pour le brasseur, et qui joue un rôle des plus importants dans la pratique du maltage. Les diastases sont des substances éminem-

ment instables et fragiles, qui résistent difficilement à l'action de la chaleur. Lorsqu'elles sont en solution ou humides, il suffit de les chauffer à une température très peu supérieure à 70° C. pour les détruire et voir disparaître leur activité : elles ne résistent jamais à l'ébullition. Il résulte d'expériences fort intéressantes de Ad. Mayer, que les diastases sont au contraire assez résistantes lorsqu'elles sont parfaitement sèches. C'est là une constatation dont M. Kayser a tiré, dans sa belle étude des malts de brasserie, des conclusions importantes relativement aux pratiques de maltage. Lorsqu'un malt est touraillé haut avant d'être parfaitement sec, il perd une portion notable de l'amylase qu'il renferme, et dès lors la saccharification du moût préparé avec ce malt est longue et pénible ; si, au contraire, le malt a d'abord été séché lentement et parfaitement, on peut ensuite impunément le tourailler à des températures dépassant même 100° C. sans lui faire perdre une fraction notable de son pouvoir diastasifère et saccharifiant.

Ainsi donc les diastases sont sensibles à l'action de la chaleur, mais inégalement suivant qu'elles sont sèches ou humides, et cette constatation est de la plus haute importance au point de vue pratique. Ajoutons, pour être complet, que l'action de la chaleur n'est pas leur seul mode de destruction ; les diastases sont aussi très facilement oxydables ; elles se détruisent peu à peu, surtout lorsqu'elles sont à l'état humide, au contact de l'air, et particulièrement vite lorsque à cette action destructive vient se superposer celle de la lumière. Cette considération nous ramène encore sur le terrain pratique, en nous montrant combien il est important de conserver le malt au sec et pourquoi un malt vieilli se laisse saccharifier de plus en plus difficilement à mesure que la durée de sa conservation s'accroît.

Voyons encore pour terminer cette étude des propriétés générales des diastases, quel est le mécanisme de leur action et à quelles lois il obéit. Etant donnée une diastase, et nous prendrons pour exemple, afin de fixer les idées, la sucrase dont nous avons parlé plus haut, il y a une relation très simple entre la quantité

de cette diastase, le temps qu'on lui donne pour agir (1), et la quantité de matière qu'elle peut transformer. Supposons que nous fassions agir sur une solution de sucre de canne une certaine quantité de sucrase, c'est-à-dire comme nous l'avons indiqué tout à l'heure, un peu d'une macération de levure dans l'eau. Les quantités de sucre que cette sucrase sera capable d'intervertir seront proportionnelles au temps, c'est-à-dire qu'au bout de deux heures, il y aura une quantité de sucre interverti double de ce qu'elle était au bout d'une heure. De plus, la quantité de sucre interverti est proportionnelle à la quantité de sucrase, c'est-à-dire que, si nous employons dans une expérience un certain volume de solution de sucrase, et dans un autre un volume double, au bout du même temps, d'une heure par exemple, la quantité de sucre interverti dans la deuxième expérience sera le double de ce qu'elle est dans la première. Résumons ces exemples dans la formule générale suivante : *l'action d'une diastase est proportionnelle au temps et à la quantité de diastase.*

Si tout, dans la pratique, se passait suivant une loi aussi simple, l'étude des diastases serait chose bien facile ; mais, en réalité, l'action d'une diastase est compliquée par d'autres facteurs qui en rendent l'étude des plus complexe, et qui expliquent comment une diastase d'une importance pratique aussi considérable que l'amylase, dans l'action de laquelle réside tout le procès de la saccharification, commence seulement depuis quelques années à être suffisamment connue. Passons donc rapidement en revue les mieux connus de ces facteurs de complication. Tout d'abord la loi que nous venons d'énoncer n'est vraie qu'au début de l'action ; la transformation va rapidement en se ralentissant de plus en plus, non pas que la diastase se détruise ou s'use en agissant, mais parce qu'elle est de plus en plus gênée par les produits de la transfor-

---

(1) Il est inutile d'insister sur cette importance du temps, car tous nos lecteurs savent, par suite de leur expérience pratique de la saccharification, que les transformations opérées par une diastase ne sont pas instantanées, et qu'il leur faut toujours, même dans les conditions les plus favorables, un minimum de temps au-dessous duquel il est impossible de descendre.

mation qu'elle provoque. C'est ce qui a été très nettement établi par des expériences de M. Duclaux et par une expérience de E. Lindet, que nous nous bornons à signaler. De plus, l'action des diastases dépend de la réaction du milieu ; certaines d'entre elles n'agissent qu'en milieu alcalin, d'autres en milieu neutre ou acide. Parmi ces dernières se placent la pepsine, qui agit en milieu fortement acide, la sucrase et l'amylase. Les acides favorisent leur action quand ils sont présents à une dose relativement faible ; mais quand cette dose dépasse une certaine limite, elle devient paralysante. Cette influence, que j'ai étudiée de près pour la sucrase, existe aussi pour l'amylase, mais est beaucoup moins connue pour cette dernière diastase ; tout le monde sait cependant que ces conditions d'acidité sont réalisées dans la pratique, et que, pendant la saccharification du malt, le milieu est toujours acide.

L'influence de la température est non moins importante à considérer, et son étude va nous permettre d'établir un certain nombre de conclusions pratiques qu'on ne saurait trop mettre en lumière, parce qu'elles constituent la base rationnelle de toute saccharification.

Il existe, pour chaque diastase, une température déterminée à laquelle elle agit mieux qu'à toutes les autres températures. Définissons bien nettement ce que nous entendons par le terme *agir mieux*, et, pour le faire, reprenons l'exemple de la sucrase, qui nous a déjà maintes fois servi. Essayons d'intervertir du sucre de canne, ou saccharose, par cette sucrase à différentes températures, en remarquant que, pour tirer de ces expériences une conclusion solide, il nous faut opérer toujours dans les mêmes conditions d'acidité, avec la même quantité de sucrase et la même quantité de sucre.

Nous constaterons qu'au bout du même temps la quantité de sucre interverti, à la température de 56 degrés, sera plus grande qu'à toutes les autres températures, inférieures ou supérieures. Cette quantité ira en décroissant constamment à mesure que la température se rapprochera de 15 ou 10 degrés; elle ira aussi en

décroissant à mesure que la température se rapprochera de 70 ou 75 degrés, et à cette dernière température, elle sera nulle, même si on augmente considérablement la durée de l'action, parce que la diastase sera détruite.

Complétons ces renseignements en indiquant, pour d'autres diastases, cette température d'optimum d'action; pour la pepsine, elle est située à 50° C.; pour la présure, à 41° C., etc.; et arrivons à l'examen de l'amylase, ou diastase du malt, qui présente à ce point de vue une singularité d'allures qui, comme nous allons le voir, nous conduira à l'envisager comme une exception dans le monde des diastases.

Tout d'abord, nous devons remarquer qu'on peut ranger les diastases, en nous plaçant au point de vue de l'état de nos connaissances, en deux grandes classes : les unes ont un mode d'action qui nous est relativement bien connu; nous leur offrons un corps cristallisable bien défini, et elles le transforment en un autre corps cristallisable, non moins bien défini (ou en deux, comme par exemple la sucrase); pour les autres, nous ne connaissons avec précision ni le point de départ, ni le point d'arrivée : le corps initial n'est pas cristallisable, le corps final ne l'est pas davantage. L'amylase est placée entre ces deux classes de diastases; en agissant sur un corps non cristallisable, l'amidon, elle le transforme en un produit qui n'est que partiellement cristallisable; nous ne connaissons à fond qu'un des produits de son action, le maltose; l'autre, la dextrine, nous est beaucoup moins bien connu, précisément parce qu'il est incristallisable, et échappe par là à une purification parfaite. Nous aurons, plus loin, l'occasion de revenir sur les autres produits de l'action de l'amylase sur l'amidon; nous pouvons, pour le moment admettre, pour simplifier notre exposé, que le maltose et la dextrine sont les deux seuls produits de la saccharification, en ne perdant pas de vue que, sous le terme *dextrine*, il faut comprendre un ou des corps sur la structure et les propriétés desquels nous n'avons que des notions peu précises.

Ceci posé, nous pouvons passer à l'examen de la saccharification à diverses températures, en supposant que

nous fassions agir une solution d'amylase ou de l'extrait de malt sur de l'empois d'amidon. Voyons d'abord comment nous obtiendrons cette amylase sur laquelle nous allons expérimenter. On peut employer soit, comme nous venons de le dire, de l'extrait de malt, c'est-à-dire le liquide obtenu en faisant macérer à froid, pendant trois ou quatre heures, du malt finement moulu avec de l'eau, et filtrant cette macération, soit une solution d'amylase préparée par le procédé Lintner. Décrivons brièvement ce dernier procédé :

On fait digérer pendant 24 heures une partie de malt, séché à l'air, et finement moulu, avec deux à quatre parties d'alcool à 20 %. La liqueur filtrée est précipitée par deux fois ou deux fois et demie son volume d'alcool absolu. Le précipité, rapidement recueilli sur un filtre, est broyé avec de l'alcool absolu, puis filtré, lavé rapidement à l'alcool absolu, puis à l'éther, et séché dans le vide sec. On obtient ainsi, lorqu'on a bien opéré, une masse blanche pulvérulente, qui se dissout dans l'eau en donnant une solution limpide.

Nous avons supposé plus haut que nous faisions agir de l'amylase obtenue, par l'un ou l'autre procédé, sur de l'amidon à l'état d'empois. C'est qu'en effet, nos conclusions seraient bien différentes si nous employons de l'amidon cru. A froid, l'action de l'amylase sur l'amidon cru est nulle, parce que l'amylase est incapable de dissoudre la cellulose qui, ainsi que nous l'avons vu antérieurement, enveloppe l'amidon ou granulose; si on élève la température, il arrive un moment où l'action se produit, donnant lieu à une saccharification, comme avec l'empois d'amidon. Mais les températures, auxquelles l'amidon cru se trouve ainsi dissous et saccharifié, ne coïncident nullement avec celles auxquelles l'amidon est transformé en empois : elles sont variables avec la nature de l'amidon employé.

Voici un tableau qui indique, d'après C.-J. Lintner, quelles sont les proportions centésimales de divers amidons crus, saccharifiées à diverses températures, et qui donne aussi les températures auxquelles ces amidons se transforment en empois. La durée des expériences est, bien entendu, partout la même.

		Sur 100 parties d'amidon cru, ont été saccharifiées, aux températures de					Températures de formation d'empois	
		50° C. (40 R)	55° C. (44 R)	60° C. (48 R)	65° C. (52 R)	70° C. (56 R)	Centigrade	Réaumur
Amidon de	pomme de terre	0,13	5,03	52,67	90,34	»	65	52
	riz	6,58	9,68	19,68	31,14	»	70-75	56-60
	orge. . . .	12,13	54,30	92,81	96,24	»	80	64
	malt vert . .	29,70	58,56	92,13	96,26	»	85	68
	malt touraillé.	13,07	56,02	91,70	93,62	»	80	64
	froment. . .	»	62,23	91,08	94,58	»	75-80	60-64
	maïs . . .	2,7	»	18,5	54,6	93,8	75	60

Nous pouvons tirer de ce tableau quelques renseignements intéressants, au point de vue de la pratique de l'emploi des grains crus; les chiffres qu'il renferme peuvent nous servir de mesure de la facilité plus ou moins grande avec laquelle les amidons crus de diverses origines sont saccharifiés. On voit, par exemple, que la fécule de pomme de terre n'est saccharifiée en proportion notable qu'à partir du moment où elle donne de l'empois (65° C.), et qu'à cette même température, l'amidon de riz, qui ne se transforme en empois que notablement plus haut, n'est saccharifié qu'en proportion relativement faible. On peut faire une observation analogue pour l'amidon de maïs. Pour l'orge, au contraire, et pour le malt vert, leur amidon est presque totalement saccharifié bien au-dessous des températures de formation d'empois, sans que la forte proportion d'amylase, que renferme le malt vert, et qui n'existe pas dans l'orge, ainsi que la dissolution de la cellulose, dont le malt vert a été le siège pendant la germination, semblent avoir une influence. On voit aussi que les mêmes conditions de la saccharification de l'amidon cru, appliquées au malt touraillé et au froment, sont moins favorables que pour l'orge ou le malt vert.

Après avoir tiré rapidement de ces données sur la saccharification de l'amidon cru les observations qu'elle comporte, arrivons à l'amidon cuit, c'est-à-dire à l'état d'empois, et voyons comment l'amylase agit sur lui à

diverses températures. Considérée d'une manière générale, l'action de l'amylase suit les mêmes lois que les autres diastases : très lente à froid, elle s'accélère peu à peu à mesure que la température s'élève, pour se ralentir et cesser ensuite dés que la température atteint 80° C. (64° R.). Mais ce n'est pas là la seule influence de la température sur la saccharification. Suivant la température à laquelle on opère, les proportions relatives de maltose et de dextrine varient; d'une manière générale, la quantité de maltose produite est d'autant plus forte que la température de saccharification est plus basse, et inversement, la quantité de dextrine produite est d'autant plus forte que la température de saccharification est plus élevée. Ce sont là des faits bien connus, et chacun sait que la saccharification à température basse produit un moût riche en matière fermentescible, c'est-à-dire donnant une bière alcoolique et peu dextrineuse; qu'au contraire, la saccharification à température élevée, produit un moût pauvre en maltose, riche en dextrine, fournissant une bière peu alcoolique, mais très dextrineuse.

Ces faits ont été mis en lumière en 1876, par M. C. O'Sullivan, et étudiés de près par MM. Brown et Héron, en 1879. Les expériences de ces savants peuvent être résumées par les chiffres suivants, qui ont pour nous plus d'intérêt que les équations chimiques, plus ou moins complexes, qui expriment ces faits :

100 parties d'amidon donnent

Au-dessous de 60° C . .	80 de maltose	et	20 de dextrine	
60 à 63°	87,8	»	32,2	»
64 à 68-70°	31,5	»	65,5	»
Au-dessus de 68-70° . .	17.4	»	82,6	»

Remarquons d'ailleurs que les équations chimiques, qui peuvent avoir un intérêt au point de vue théorique, perdent beaucoup de leur valeur au point de vue pratique, parce qu'il est pratiquement très difficile d'avoir une température absolument uniforme à 1° près, dans toute la masse d'une cuve matière, et que dès lors il y a une superposition, une sorte d'enchevêtrement des diverses phases de la réaction, qui tendent à ame-

ner la saccharification vers un résultat moyen qu'il est impossible de résumer sous une forme simple. Il faut encore ajouter qu'il est difficile de faire entrer directement, dans le domaine de la pratique, les expériences théoriques de MM. Brown et Héron, continuées plus tard par MM. Brown et Morris, parce que ces savants ont opéré avec de l'amidon à l'état d'empois, tandis que, dans la saccharification industrielle, ou tout au moins pendant une partie de cette saccharification, on opère sur de l'amidon cru (1), qui bien, que préparé par le maltage, se comporte, ainsi que nous l'avons vu plus haut, d'une manière un peu diffférente de l'amidon cuit.

Mais, quelle que soit l'interprétation adoptée, il n'en reste pas moins établi que l'amylase se différencie nettement des autres diastases par la propriété de donner lieu à des produits dont les proportions relatives varient notablement, suivant la température à laquelle elle agit. A quoi attribuer ce fait singulier qui constitue jusqu'ici une exception dans le monde des diastases? Déjà en 1877, Mærcker avait émis l'opinion que l'amylase est composée de deux diastases, qui transforment l'amidon, l'une en maltose, l'autre en dextrine; la première serait détruite à une température plus basse que la deuxième. C'est là une hypothèse séduisante, que rien n'est venu contredire jusqu'ici, et qui explique d'une manière satisfaisante les faits observés. Bien plus, elle permet seule d'expliquer une observation de MM. Brown et Héron, sur laquelle, il nous semble, qu'on n'a pas assez attiré l'attention. Ces savants ont reconnu que, si on chauffe de l'extrait de malt à une certaine température, la marche de la transformation opérée ensuite par cet extrait de malt, à une température plus basse, est la même que si elle se faisait à la température à laquelle on a primitivement chauffé l'extrait. Par exemple, on chauffe de l'extrait de malt à 66°, et on fait ensuite avec cet extrait une saccharification à 60°. On devrait obtenir, pour 100 d'amidon, 68 de maltose et 32 de dextrine; on obtient au con-

(1) En brasserie, mais en distillerie on opère presque toujours la coisson préalable de la matière amylacée.

traire 35 de maltose et 65 de dextrine, comme si on avait opéré la saccharification à 66°. En adoptant l'hypothèse de Mærcker, nous trouvons de ce phénomène singulier une explication naturelle, qui devient assez évidente pour que nous ne la développions pas davantage.

En insistant sur ces derniers faits, nous sommes ramenés sur le terrain pratique, et nous devons appeler l'attention sur un cas qui doit se présenter plus souvent qu'on ne le pense généralement. Que, par suite d'un accident ou d'une négligence, la température s'élève plus qu'on ne veut dans la cuve-matière de 1 ou 2 degrés, on songera immédiatement à réparer cette irrégularité par une addition d'eau froide. Mais nous voyons par l'expérience précitée que le mal, une fois fait, est irréparable, et que la saccharification continuera comme si la température ne s'était pas abaissée.

Sans que l'hypothèse de l'existence de deux diastases dans l'amylase ait reçu jusqu'ici une sanction expérimentale, elle est tellement d'accord avec les faits et a une telle utilité pour nous permettre de les fixer nettement dans notre esprit, que nous l'adopterons jusqu'à plus ample informé, nous appuyant en cela sur l'autorité de M. Duclaux, qui, dans une conférence sur la saccharification, a plaidé il y a quelques années en faveur de cette manière de voir. Sont-ce là les deux seules diastases dont il faille envisager l'existence probable dans l'orge germée? Il semble qu'on doive aussi y considérer la présence d'une autre diastase dont l'importance pratique est non moins grande. On oublie, en effet, assez généralement, que la saccharification ne réside pas seulement dans la transformation de l'amidon en maltose et en dextrine. Pour que cette transformation se produise, il faut que l'amidon passe tout d'abord de la forme insoluble à la forme soluble; le premier stade de la saccharification doit donc être une *solubilisation* ou une *liquéfaction*. Cette liquéfaction est d'autant plus rapide que la température se rapproche plus de 70 degrés, et donne lieu, dans la pratique à un phénomène tellement apparent qu'il est inutile de nous étendre plus longuement sur ce point

Voilà donc une nouvelle diastase hypothétique dont

l'action précède dans la saccharification celle des deux autres; cette suite d'hypothèses justifie l'opinion que les phénomènes d'une opération aussi importante et aussi fréquemment répétée que celle de la saccharification, étaient encore imparfaitement connus.

Après avoir exposé les circonstances diverses qui jouent un rôle dans le phénomène de la saccharification, voyons quels sont les corps auxquels donne lieu la transformation de l'amidon et qu'on retrouve dans le moût de bière, produit ultime de cette transformation.

L'un de ces produits, le maltose, nous est bien connu; nous savons qu'il rentre dans cette classe de corps dont le nombre va constamment en augmentant depuis quelques années, qu'on désigne sous le nom général de *sucres*. Il a la même formule que le sucre ordinaire, sucre de canne ou saccharose, $C^{12} H^{22} O^{11}$, c'est-à-dire qu'il a la même composition centésimale; mais, malgré cette identité de composition et de formule, qui est un exemple de ce que les chimistes appellent une *isomérie*, le maltose diffère notablement du saccharose par un certain nombre de propriétés.

Tout d'abord, il réduit à l'ébulition la liqueur de Fehling, qui, nous l'avons vu, n'est pas réduite par le saccharose; depuis qu'on commence à connaître la constitution des sucres, c'est-à-dire la manière dont sont groupés, relativement les uns aux autres, les atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, qui les composent, on sait qu'il faut attribuer ce pouvoir réducteur à la présence, dans la molécule, d'un groupement aldéhydique, c'est-à-dire de même nature que celui qu'on retrouve chez les aldéhydes. Nous verrons tout à l'heure l'importance de cette considération qui semble n'avoir qu'un caractère d'ordre purement chimique, mais qui n'en a pas moins permis dernièrement à plusieurs savants de porter un jugement décisif sur une théorie du dédoublement de l'amidon qui a eu cours pendant longtemps et qui jouit encore d'une certaine faveur.

Le maltose diffère donc du saccharose en ce qu'il réduit la liqueur de Fehling; son pouvoir réducteur est notablement plus faible que celui du glucose ou dextrose. Comme le saccharose il est transformé, par

ébullition avec les acides étendus, en deux autres sucres, d'après une formule chimique analogue à celle que nous avons donnée précédemment :

$$\underset{\text{Maltose}}{C^{12}H^{22}O^{11}} + \underset{\text{Eau}}{H^2O} = \underset{\text{Glucose}}{C^6H^{12}O^6} + \underset{\text{Glucose}}{C^6H^{12}O^6}$$

Cette transformation qui, par analogie, porte souvent le nom d'*inversion* ou *interversion*, et qui se produit avec fixation d'une molécule d'eau (d'où le nom d'*hydrolyse* fréquemment employé aussi), diffère de celle du sucre ordinaire en ce que celui-ci donnait lieu à la formation de sucre interverti, mélange de glucose et de lévulose (nouvel exemple de corps isomériques) tandis qu'ici, il se forme un seul et même sucre, le glucose.

Nous avons vu aussi que le saccharose n'est pas directement assimilable, et que pour devenir fermentescible, il doit être transformé au préalable en sucre interverti, transformation que produit physiologiquement une diastase spéciale, l'invertine ou *sucrase*. En est-il de même du maltose ? Est-il directement assimilable et fermentescible, ou bien doit-il d'abord être transformé en glucose ? Cette question est loin d'être complètement résolue ; la diastase qui transforme le maltose en glucose, qui est au maltose ce que la sucrase est au saccharose, est connue, c'est la *maltase*, souvent appelée à tort glucase : La maltase a été trouvée comme produit de sécrétion d'un champignon, l'*aspergillus niger* vivant aux dépens du maltose, son existence est démontrée dans les grains de maïs germés, sinon dans toutes les céréales maltées, et les expériences faites sur cette diastase donnent encore lieu à de nombreuses contradictions (1).

Mais s'il n'y a pas de faits qui permettent de dire que la levure de bière ne fait pas fermenter le maltose directement, sans inversion préalable, il n'y en a pas non plus qui autorisent à affirmer avec certitude le contraire.

A côté du maltose se place, au point de vue de l'importance, un autre corps que nous connaissons

(1) *La Bière et les Boissons fermentées*, 1re année, n° 7.

beaucoup moins, c'est la dextrine. Si l'on suit avec la teinture d'iode la marche d'une saccharification, on constate qu'il se produit au début une coloration bleue intense; une nouvelle prise d'essai faite un peu plus tard donne lieu à une coloration violette, puis rouge violacée, qui devient bientôt rouge brunâtre; finalement la teinte obtenue est simplement jaune, comme celle de la teinture d'iode elle-même.

On a attribué, et on attribue encore ces colorations diverses, à la formation successive d'amidon soluble, d'érythro-dextrine (coloration rouge), d'achroo-dextrine (pas de coloration). Quelques auteurs ont voulu voir dans ces couleurs la superposition du bleu plus ou moins violacé fourni par l'amidon et du jaune plus ou moins brun produit par l'iode. Quoiqu'il en soit, l'explication première conduisait à admettre la formation d'au moins deux dextrines; en 1878, les travaux de Musculus et Grüber concluaient à l'existence de trois achroo-dextrines, et enfin ceux plus récents de Brown et Morris ont amené ces savants à émettre une théorie qui, jusqu'à ces derniers temps, était presque universellement adoptée. Exposer cette théorie par le menu nous conduirait à entrer dans des détails qui ne peuvent trouver leur place ici; nous nous contenterons de la résumer en disant que l'amidon soluble dont la composition centésimale répond à la formule $C^6H^{10}O^5$, a pour MM. Brown et Morris une structure beaucoup plus complexe, exprimée par la formule $5\ [(C^{12}H^{20}O^{10})^{20}]$, c'est-à-dire que ce corps renferme 1 200 atomes de carbone. Par une série de dégradations successives, cette molécule complexe se transforme peu à peu en molécules de structure de plus en plus simple ou *amyloïnes*, en séparant chaque fois une molécule de maltose, jusqu'à ce que finalement elle arrive à donner la dextrine la plus simple $(C^{12}H^{20}O^{10})^{20}$. Ces transformations successives ont conduit à admettre l'existence de neuf dextrines différentes, sans que cette explication soit sortie du domaine de la pure hypothèse, puisqu'aucune de ces dextrines n'a été isolée. Le seul produit intermédiaire entre l'amidon d'une part et le maltose et la dextrine de l'autre qui ait été pris en considération comme espèce nettement définie est

une combinaison de maltose et de dextrine, pour laquelle MM. Brown et Morris admettent la formule $C^{12}H^{22}O^{11}$, $(C^{12}H^{20}O^{10})^{2}$, et qui en fixant deux molécules d'eau donnerait trois molécules de maltose.

C'est là la *maltodextrine*, dont l'existence avait été signalée en 1879 par M. Herzfeld. Cet auteur admettait que la maltodextrine était fermentescible, tandis que MM. Brown et Morris, bien qu'ayant vraisemblablement opéré avec une levure différente, niaient que la maltodextrine pût fermenter. Pour concilier ces divergences, et pour montrer une fois de plus qu'on ne saurait s'arrêter sur le chemin des hypothèses, lorsque celles-ci découlent de pures vues de l'esprit et non de faits expérimentaux, on a admis dans le moût de bière la présence d'au moins deux maltodextrines dont l'une serait fermentescible et disparaîtrait dans la fermentation secondaire, dans la cave de garde, tandis que l'autre maltodextrine ne pourrait fermenter. MM. Morris et Moritz, dans leur remarquable *Traité de brasserie*, consacrent même un chapitre à exposer l'influence que peut avoir le type de maltodextrine présente dans un moût sur le goût de la bière que fournira ce moût.

M. C.-J. Lintner et son école ont commencé récemment, avec succès, à battre en brèche cette théorie, dont la complexité a pu séduire certains esprits et est d'accord avec la complexité même des faits qu'elle cherche à expliquer, mais qui ne repose malheureusement pas sur un nombre suffisant de données expérimentales bien nettes. Remarquons en particulier que les chiffres analytiques de MM. Brown et Morris, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, supposent que la dextrine est un corps dénué de pouvoir réducteur, hypothèse gratuite et qui est en contradiction avec des expériences de MM. Scheibler et Mittelmeier, qui ont montré que la dextrine, purifiée avec le plus grand soin, réduit la liqueur de Fehling, et fournit, comme tous les corps aldéhydiques, une combinaison avec la *phénylhydrazine*, réactif précieux, dont M. E. Fischer a introduit l'emploi dans l'étude des hydrates de carbone, et qui a singulièrement facilité les progrès réalisés dans ces dernières années par la difficile ques-

tion des sucres. Ces combinaisons de la phénylhydrazine avec les sucres sont cristallisées, et ont pour chaque espèce de sucre, un point de fusion bien déterminé ; nous allons tout à l'heure utiliser cette propriété.

En 1891, MM. Scheibler et Mittelmeier avaient rencontré dans le sucre d'amidon, ou glucose obtenu par l'action des acides sur l'amidon, un sucre réducteur répondant à la formule $C^{12}H^{22}O^{11}$ du maltose, mais différant du maltose et identique avec un sucre obtenu peu de temps auparavant par E. Fischer dans l'action des acides sur le glucose, et nommé par ce savant *isomaltose*. Ce sucre, qui est amorphe, mais qui donne avec la phénylhydrazine une combinaison bien définie et cristallisée, a été retrouvé par M. C.-J. Lintner dans la bière et dans le moût de bière ; c'est un produit constant de la saccharification.

L'isomaltose joue, d'après M. Lintner, un rôle important dans la bière. Au-dessus de 65°, il commence à se décomposer, en prenant une odeur nette de caramel ; et comme ce sucre se produit déjà dans l'orge pendant la germination, il semble qu'il faille lui attribuer une part notable dans l'arôme particulier que prend le malt lorsqu'on le touraille. Sa présence dans le moût, comme produit de la saccharification contribue aussi, en partie, au goût de la bière résultante, dans laquelle ce sucre disparaît en dernier lieu, parce qu'il est beaucoup moins fermentescible que le maltose.

L'amylase transforme l'isomaltose en maltose ; la sucrase le transforme en glucose, et, d'après l'opinion de M. Lintner, le moût ne renfermerait pas de maltodextrine, mais un mélange de maltose, d'isomaltose et de dextrine. Cette vue a été confirmée par un travail récent de M. A. Schifferer, qui a essayé en vain d'obtenir la maltodextrine, en suivant pas à pas la méthode de préparation indiquée par Brown et Morris, et qui n'a jamais pu retrouver dans les produits de la saccharification aucun corps défini autre que le maltose, l'isomaltose, et la dextrine ; la conclusion du travail de M. Schifferer relativement à ce dernier corps est que le nombre des dextrines est certainement très restreint, et ne s'élève probablement pas au-dessus de deux.

Mais quelles que soient les conclusions relatives à la dextrine, dont l'étude demandera peut être encore de longues années, il n'en reste pas moins établi que l'existence d'une maltodextrine est tout à fait problématique.

Ces données, sur lesquelles M. Lintner est encore revenu une fois de plus tout récemment, dans l'*Allgemeine Brauer und Hopfenzeitung* (t. 32, p. 1503), sont, comme le fait fort justement observer le savant professeur de Munich, établies sur des faits expérimentaux et non sur de simples vues de l'esprit, et dès lors ce n'est pas une théorie nouvelle qui cherche à détrôner une autre théorie qui semble avoir fait son temps ; ce sont des faits positifs qui sont en contradiction avec des hypothèses, et que ces dernières ne sont plus en état d'expliquer.

En résumé, les corps qu'on trouve dans le moût de bière après saccharification se composent de deux classes distinctes ; les uns préexistaient dans le malt, et parmi eux il faut ranger le *saccharose* ou sucre ordinaire, qui est appelé à disparaître dans la fermentation, parce que la levure, source abondante de sucrase, le transformera en glucose et lévulose, qui fermentent tous les deux avec la plns grande facilité; les autres sont des produits de la saccharification elle-même, et sont, pour nous en tenir à ceux-là seulement dont l'existence est solidement établie, le *maltose*, l'*isomaltose* et la *dextrine*. Le premier de ces trois corps disparaît rapidement par la fermentation : le second, plus lentement, parce qu'il est moins fermentescible, mais sa disparition peut être activée par suite de sa transformation en glucose, transformation produite par la sucrase, ainsi que nous l'avons vu plus haut ; nous avons, d'ailleurs, déjà dit précédemment que la levure produit cette dernière diastase en grande abondance. La dextrine enfin reste intégralement dans la bière, et contribue pour la plus grande part à donner à cette boisson ce qu'on appelle communément de la bouche.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut dire que les théories de la saccharification ont subi, comme toutes les questions complexes, une série de vicissitudes qui ont fait que l'interprétation des faits, tout à

fait simple d'abord, a été en se compliquant de plus en plus. A cette période, il semble qu'il doive en succéder une nouvelle, période de réaction dans laquelle on cherche à simplifier les choses, et à les ramener à quelques formules plus facilement abordables et compréhensibles. Nous nous en plaindrons d'autant moins que ces formules simples sont en même temps plus conformes aux faits.

(113). *Variétés des levures alcooliques.*

Maintenant que nous connaissons les principaux phénomènes de la vie des levures et des diastases, nous allons examiner les diverses variétés de levure alcoolique, car, bien que nous n'ayons jusqu'à présent parlé que de la levure de bière, et des saccharifications qui se produisent dans la fabrication de cette boisson, ces différentes propriétés de fermentation et de secrétion de diastases sont partagées par de nombreux microbes, et par des mucédinées, dans de certaines conditions de vie variables pour chaque culture. Cette propriété de ferment a été mise en évidence pour le *bacille typhique* par le docteur H. Dubief, qui a montré que le bacille de la fièvre typhoïde transforme le glucose en alcool (1) et acide carbonique (*Société de Biologie*, séance du 17 octobre 1891). Nous ne saurions pourtant ranger tous ces bacilles comme *ferments alcooliques* ou *levures*, car ils ne jouent ce rôle que lorsqu'on les a transplantés dans un milieu différent de leur milieu normal, exactement comme les cellules de fruits ou de plantes qui, privées d'air, jouent le rôle de ferment et ne sont pas des ferments proprement dits. Nous n'appliquerons le nom de *levures*, qu'aux microbes qui, comme la levure de bière, trouvent les conditions de

(1) Il est probable que cette propriété de fermentation s'étend à un grand nombre de bacilles pathogènes; mais comme la plupart de ces bacilles demandent pour vivre un terrain neutre ou légèrement alcalin, on maintient cette neutralité par un peu de carbonate de chaux ou de magnésie, qui souvent masque le dégagement d'acide carbonique; et la fermentation ne peut être mise en évidence que par la séparation de l'alcool par distillation, opération rarement faite par les médecins qui ont étudié ces bacilles, et qui n'ont jugé de la fermentation que par le dégagement des gaz.



leur vie normale dans la fermentation des moûts sucrés, et qui, malgré les diverses transformations qu'ils peuvent subir, reprennent leur forme, leur pouvoir ferment et leur pouvoir de reproduction, lorsqu'on les met en présence de ces moûts.

Dans ces conditions de milieu favorable, leurs propriétés au moins dans les grandes lignes, diffèrent peu de celles de la levure que nous avons étudiée. Nous allons examiner rapidement les principales.

Dans la fabrication de la bière on a distingué depuis longtemps la levure haute et la levure basse.

La levure haute, qui nous a servi de type dans les figures et études précédentes, se distingue par son caractère de rester en paquets rameux assez touffus pendant la période de la fermentation, les globules ne s'isolant que lorsque la fermentation se termine. Avec cette levure la fermentation se déclare rapidement, la levure entraînée par l'acide carbonique remonte à la surface des cuves et y forme chapeau, c'est la levure des bières anglaises et des bières du Nord de la France, celle qui est le plus employée en distillerie. La température la plus favorable à son développement est voisine de 25°.

La levure basse peut au contraire fermenter à des températures de beaucoup inférieures, on l'utilise en brasserie entre 5 et 6°, elle donne à la bière un goût spécial qu'on ne peut obtenir avec les levures hautes, même en les faisant agir à basse température, c'est la levure des bières de Bohême et d'Allemagne.

Fig. 12. — Levure basse.
a, Pendant la fermentation. — *b*, Globules vieux et granuleux. — *c*, Globules contenant des spores.

La levure basse est un peu plus petite, un peu moins ronde que la levure haute, les cellules en bourgeonne-

ment se détachent en général de la cellule-mère quand elles ont atteint la même grosseur, on ne les voit donc plus que par couples (fig. 12), et, la fermentation terminée, les globules sont tous isolés. Enfin, caractère spécial et auquel elle doit son nom, la *levure basse*, même à des températures de 20 à 25°, reste au fond des vases pendant la fermentation.

On a cru longtemps que ces deux espèces de levures pouvaient se transformer l'une dans l'autre, mais il est clairement démontré aujourd'hui que cette transformation n'a pas lieu. Lorsqu'on a cru la voir s'opérer l'essai avait été fait sur des levures haute et basse mélangées, et non sur une espèce pure, et alors, suivant les conditions du milieu et surtout de température pendant la fermentation, l'une des deux espèces se développait à peu près seule. M. Hansen, qui s'est surtout occupé de l'étude des levures de bière, a même démontré que chacune de ces deux espèces contient un très grand nombre de variétés qui sont incapables de se transformer l'une dans l'autre.

On peut donc dire que la théorie transformiste, fort séduisante au point de vue philosophique, ne repose sur aucune expérience exacte, et que si des transformations ont lieu, ce ne peut être que dans des temps très longs, les observations de M. Hansen durant, au moins pour certaines variétés, depuis près de vingt ans.

M. Hansen a en outre étudié les changements de forme des différentes variétés de levure dans différentes conditions, et signalé les formes que prennent les globules dans les dépôts et dans les voiles des fermentations terminées. On appelle voile les taches de levures qui apparaissent à la surface d'un liquide fermenté, taches qui s'étendent, se confondent et s'épaississent sur le liquide immobile en libre contact avec l'air.

La figure 13 nous montre, d'après Hansen, les différentes formes prises par une levure haute anglaise. On voit que, privées de sucre et au contact de l'air, les cellules tendent à s'allonger puis à prendre une forme de mycélium lorsque ces conditions défavorables s'exagèrent.

Cette propriété avait déjà été observée par Pasteur

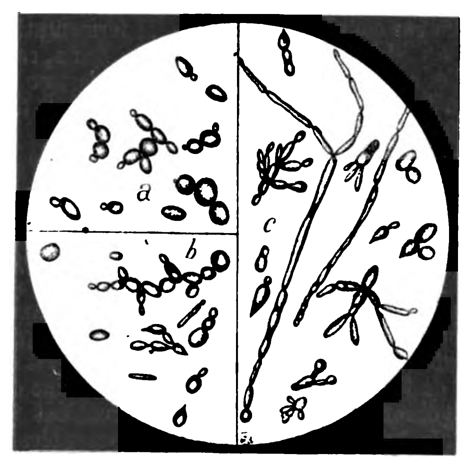


Fig. 13. — Levure haute anglaise, d'après Hansen.
a, Formes observées dans les dépôts. — *b*, Formes observées dans les voiles. — *c*, Vieilles cultures de voiles.

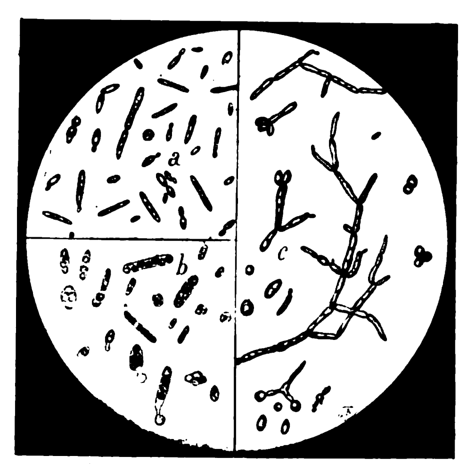


Fig. 14. — *Saccharomyces Pastorianus.*
a, En culture suivie.— *b*, Formation des spores.— *c*, Dans les voiles.

sur un saccharomyces trouvé par lui dans les vins du Jura, et par Rees qui lui a donné son nom de *saccharomyces Pastorianus*. Le saccharomyces existe sur la plupart des fruits acides avec la même forme *c* (fig. 14), que Hansen a pu reproduire dans les cultures de voiles. Ce ferment est une levure basse, considérée en général, comme ferment de maladie, donnant aux liquides fermentés un goût amer désagréable. Ce saccharomyces sous la forme pyriforme des voiles ou de la surface des fruits, mis en contact avec un moût sucré, entre en bourgeonnement, et petit à petit, à mesure de la disparition de l'air, les articles et les cellules diminuent de longueur jusqu'à former des globules analogues aux levures ordinaires, ronds ou ovales et ne ressemblant plus aux cellules primitives. Néanmoins, il n'y a pas là transformation d'espèces, il y a un simple changement de forme dû au changement de milieu. Ce changement,

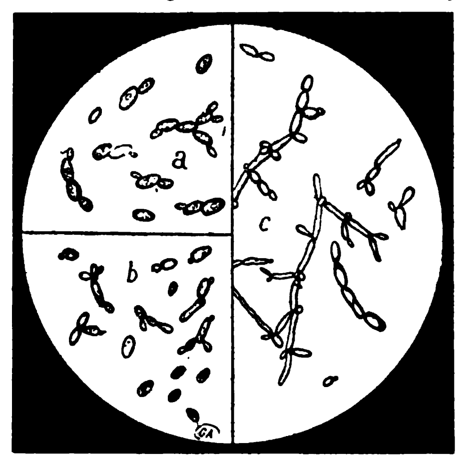


Fig. 15.— *Saccharomyces ellipsoïdeus*.
a, En culture suivie. — *b*, Dans les dépôts et formation des spores.
c, Dans les voiles.

facile à observer dans l'ordre où nous venons de l'indiquer, est beaucoup plus difficile à observer en partant de la cellule simple pour arriver à la forme monstrueuse indiquée dans les voiles et sur les fruits, mais

néanmoins possible. Il semble donc que chaque variété de levure doive prendre deux formes bien distinctes suivant les conditions de milieu : une forme *aérobie* et une forme *anaérobie*, les expériences de M. Hansen confirment cette hypothèse indiquée d'abord par Pasteur, bien qu'on n'ait pu encore obtenir ces deux formes pour tous les saccharomyces.

Nous en trouvons un nouvel exemple dans le saccharomyces ellipsoïdeus (fig. 15), qui est le ferment ordinaire du vin, et dont les modes de reproduction et de développement sont analogues aux ferments que nous avons étudiés précédemment.

En culture suivie, ce saccharomyces ne se distingue des précédents que par la forme plus allongée a laquelle il doit son nom, il y en a d'ailleurs un grand nombre de variétés fort voisines, mais qui jouissent, soit seules soit par leur mélange, de la propriété de donner aux vins des différents crus leur arôme particulier ainsi que l'ont fait voir MM. Marx, Jacquemin et Kayser. Cette levure est aussi une levure basse.

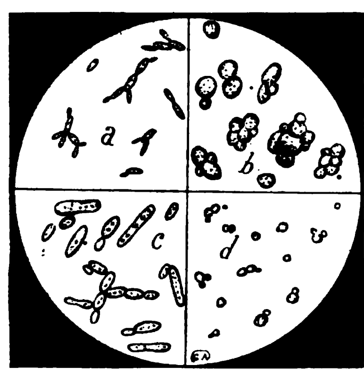


Fig. 16.
a, Saccharomyces exiguus de Reess.
b, Saccharomyces conglomératus.
c, Saccharomyces mycoderma.
d, Saccharomyces minor.

Comme autres types de levures, nous citerons :

Le *saccharomyces exiguus* qui est, d'après Rees, l'agent de la fermentation consécutive des bières ; ne fermente pas le maltose.

Le *saccharomyces conglomeratus*, que l'on rencontre dans les raisins gâtés, dans les vins et certaines bières, est en général signe de fermentation défectueuse.

Le *saccharomyces mycoderma*, ou *mycoderma*

vini, ou *fleurs du vin*, est encore un ferment alcoolique, mais dont les fonctions ne s'arrêtent pas à la transformation du sucre en alcool ; lorsque le sucre lui fait défaut, et même avant ce terme s'il y a excès d'air, il s'attaque à l'alcool qu'il transforme directement en eau et acide carbonique par combustion complète. Il brûle de même l'aldéhyde et l'acide acétique. C'est à ce saccharomyces qu'est due la *maladie des vins plats*, ainsi que l'a prouvé Pasteur, et son pouvoir absorbant pour l'oxygène est si grand, que dans un fût de vin où règne cette maladie, comme dans un vase où l'on cultive ce mycoderme, on ne voit se développer aucune moisissure même quand on l'aurait ensemencée.

Le *saccharomyces minor* a été trouvé par M. Engel dans le levain de farine. Ce ferment mis dans les moûts sucrés se développe comme la levure de bière, mais beaucoup plus lentement, il s'en distingue, d'ailleurs par sa petite taille.

Le rôle de cette levure dans la *fermentation panaire* n'est d'ailleurs pas bien déterminé, non plus que le rôle de la levure pressée employée en boulangerie au lieu de levure de farine. Ce microbe n'est pas non plus le seul qui se rencontre dans le levain de farine où il doit être amené par les grains. La fermentation panaire est encore, à l'heure actuelle, sinon peu étudiée, du moins fort peu connue ; le seul fait bien établi, et vérifié par M. Duclaux, est que cette fermentation ne produit pas d'alcool dont on ne trouve trace, ni dans la pâte du pain, ni dans le levain de farine. Il semble même que dans certains levains, aucun des microbes isolés, mis en présence d'un liquide sucré, n'est capable d'y développer la fermentation alcoolique.

A première vue, ce résultat semble en contradiction avec la pratique de certains distillateurs des pays tropicaux qui, au commencement d'une campagne, font leur premier fond de cuve de vesou ou de mélasse en y délayant un levain de boulangerie, croyant ainsi ensemencer la levure. Sans cette précaution en effet, la fermentation spontanée qui s'établit, au lieu d'être une fermentation alcoolique, est acide ou putride. Le remède nous devons le dire n'est pas infaillible, mais réussit la plupart du temps. Or, nous avons dans les mêmes

pays, dans les mêmes conditions, obtenu le même résultat en remplaçant le levain de boulangerie par un levain de maïs malté ou saccharifié à l'acide ; il n'est donc pas question d'ensemencement de levure, au moins dans ce dernier cas, où le moût est complètement stérilisé. Il est beaucoup plus probable que dans les deux cas, levain de boulangerie ou moût de maïs, la levure se trouvant en présence d'un milieu plus riche en azote, en principes nutritifs, prend le pas et étouffe les mucédinées et autres ferments qui l'accompagnent toujours.

Les ferments que nous avons étudiés jusqu'ici possèdent tous la faculté de se reproduire par bourgeonnement, ou par spores naissant dans l'intérieur de la cellule, caractères qui distinguent le genre *saccharomyces*. Mais ce nom générique ne doit pas être confondu avec ferment alcoolique. Nous avons dû déjà faire des réserves pour le *saccharomyces micoderma*, qui est plus une maladie qu'une levure, nous verrons d'autres saccharomyces qui ne sont pas des vrais ferments, et de même des ferments qui n'appartiennent pas à ce genre.

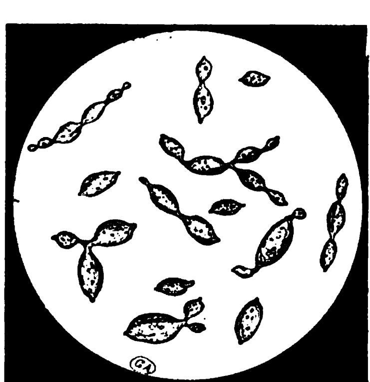


Fig. 17. — *Carpozyma apiculatum.*

Nous en trouvons un exemple dans l'un des ferments les plus répandus, le *carpozyma apiculatum*, ou *ferment apiculé*. Ce ferment porte à chaque extrémité un petit renflement ou *apicule*, qui fait ressembler chaque globule isolé à un citron et permet de le distinguer facilement au microscope (fig. 17). C'est au niveau de ces apicules que se produit toujours le bourgeonnement.

Engel a prouvé que ce ferment ne se reproduisait

pas par spores, ce n'est donc pas un saccharomyces. c'est cependant le ferment le plus répandu, car il existe sur tous les fruits mûrs, et détermine la fermentation de tous les moûts de fruits. On le trouve donc dans les fermentations des vins même dans les fermentations spontanées des bières belges.

M. Hansen, après avoir vérifié les conclusions d'Engel relatives à la sporulation, a fait une étude remarquable sur les habitats des ferments, en prenant pour base de ses recherches le *carpozyma apiculatum* dont la forme bien caractéristique évitait toute confusion. Il n'a rencontré ce ferment, ni sur des fruits verts, ni sur des fruits qui mûris puis desséchés étaient analysés pendant l'hiver, alors qu'il le rencontrait invariablement sur les fruits mûrs. Il était donc intéressant de connaître où ce ferment passait l'hiver. Hansen a d'abord montré que les cellules du ferment apiculé meurent rapidement lorsqu'on les laisse dessécher, ou, lorsqu'on les dépose à la surface d'un fruit vert incapable de leur fournir une nourriture, tandis qu'on peut les conserver vivants fort longtemps en les gardant dans du coton humide en couche épaisse, ou dans des buvards imbibés d'eau. Elles peuvent donc vivre dans les couches humides du sol, et en effet, on les trouve toujours dans la terre qui avoisine les arbres fruitiers.

Les cellules apiculées s'enfoncent en terre à l'époque du froid, puis quand la température augmente, elles reviennent à la surface du sol, d'où le vent et les insectes les reportent à la surface des fruits qui forment leur habitat de prédilection.

Les échantillons de terre pris dans ces conditions et mis dans un liquide sucré, ont en effet toujours donné lieu à la fermentation et à une abondante récolte de carpozyma.

Cette expérience bien nette nous montre que le phénomène des *fermentations spontanées* ne peut être expliqué par la théorie des générations spontanées.

Pasteur avait en effet prouvé depuis longtemps qu'il n'existe pas de levures dans l'intérieur des fruits sains, et qu'en faisant mûrir des raisins dans une serre, ou en enveloppant les grappes au préalable dans du coton pour

les préserver du contact des poussières atmosphériques, les raisins ainsi mûris, puis écrasés ne donnent pas lieu à la fermentation spontanée. Le raisin mûri à côté, mais au libre contact de l'atmosphère, au contraire fermente seul.

Prenant les grains de ce dernier raisin (1), puis les lavant dans l'eau distillée à l'aide d'un fin blaireau, Pasteur avait remarqué dans cette eau, examinée au microscope, des cellules brunes de forme bizarre accompagnant des poussières de toutes sortes. Ces cellules brunes, ensemencées dans un liquide nutritif stérilisé, donnent bientôt naissance à des cellules de levure du genre saccharomyces. Ces cellules brunes sont donc de véritables germes de cellules de levure, on les rencontre également dans la terre et c'est probablement sous cette forme qu'hivernent les saccharomyces, d'une façon analogue au ferment apiculé dont l'hivernage est établi par M. Hansen; mais pour les saccharomyces un point nous reste encore inconnu, nous ne savons comment se produisent les cellules brunes.

Néanmoins, nous avons un indicateur en ce sens par l'étude de l'épuisement de la levure. Pasteur appelle levure épuisée, une levure obtenue par une série, de cultures faites dans l'eau sucrée mais privée de sels et de substances azotées; ou inversement, dans un bouillon nutritif privé de sucre. La levure s'épuise, mais pourtant ne meurt qu'après un temps très long, car Pasteur a pu en conserver ainsi plus de deux ans. Qu'on ensemence alors cette levure épuisée dans un liquide sucré et nutritif, on remarque que le premier développement est très long, que les premières cellules qui se développent prennent des formes monstrueuses, et ne reprennent leur forme normale qu'après plusieurs générations. Dans ce premier développement l'on rencontre, tantôt les formes monstrueuses que nous avons déjà rencontrées dans les voiles, tantôt des formes de tubes ressemblant à des myceliums de mucors, tantôt des formes analogues à celles que nous venons de signaler sur les fruits ou les grains de raisin, mais sans la coloration brune indiquée. Donc, malgré

(1) Pasteur. — *Études sur la bière.*

cette légère lacune, il nous est facile de comprendre comment les levures d'un même cru peuvent se conserver d'une année à l'autre dans l'intérieur de la terre humide, qu'il s'agisse des raisins ou d'un autre fruit. Nous ne devons pas oublier que les *spores des saccharomyces*, séchées lentement deviennent insensibles aux plus grands froids de nos laboratoires, et supportent plus de quarante-huit heures une température de 65° sans rien perdre de leur propriété germinative ; elles sont donc insensibles aux variations de la température atmosphérique, et, se conservant au milieu des poussières des chais et des pressoirs, attendent une nouvelle récolte qui les met de nouveau en contact avec un moût sucré.

Il n'y a donc pas à nous étonner de voir au moment des vendanges les moûts de fruits entrer seuls en fermentation, et nous n'avons pas à faire intervenir dans ce phénomène la génération spontanée, car, ainsi que l'a prouvé Pasteur, pas de germe, pas de fermentation.

(114) *Autres produits de la fermentation des levures.*

Outre les produits que nous avons rencontrés dans la formule de Pasteur, les seuls dont la proportion soit assez importante pour entrer en ligne de compte, les levures donnent naissance à d'autres produits qui ne sont pas négligeables au point de vue de leur influence sur la valeur marchande de l'alcool.

D'abord les arômes, variables avec chaque variété de levure ainsi que nous l'avons signalé aux levures elliptiques, produits peu connus en général au point de vue chimique, et formés par le mélange d'éthers éthyliques des acides gras des séries supérieures, dont le type est l'*œnanthylate d'éthyle* que l'on rencontre dans les vins et eaux-de-vie. Ces produits de sécrétion des levures ne sont pas d'ailleurs les seuls qui contribuent au véritable arôme d'un cru, mais leur influence n'est pas contestable aujourd'hui.

Ensuite viennent des produits sécrétés par toutes les variétés de levures pures, et dont la proportion seule peut varier suivant la race de levure, le milieu et

les conditions physiques de la fermentation. Ces produits, pouvant aussi prendre naissance sous l'influence de ferments étrangers ou de bacilles, qui sont leurs plus gros producteurs, on ne leur a pendant longtemps attribué que cette seule origine. On a même cru et prétendu que, par l'emploi de levures pures, on arriverait à supprimer le flegme et à produire directement l'alcool chimiquement pur sans rectification. Certes, la levure pure apporte une amélioration considérable, mais dans *les fermentations par levures pures* nous avons encore production d'*acide acétique* trouvée par M. Béchamp, et dont la présence fut ensuite confirmée par M. Duclaux. Ce dernier savant a en outre prouvé que l'acide acétique ne se produit jamais seul dans les fermentations, il est toujours accompagné par des traces d'autres acides gras supérieurs homologues. Ces acides prennent même naissance dans la levure abandonnée à elle-même; et c'est à eux que la levure doit son acidité. La quantité de ces acides, produite par la fermentation, est variable avec la nature du liquide, sa richesse en sucre et la présence de différents sels.

La présence de ces acides nous explique la présence des éthers éthyliques correspondants, que l'on trouve toujours dans les vins et dans les flegmes.

Ensuite vient l'aldéhyde que l'on rencontre également dans les produits de fermentations industrielles. Des expériences faites par M. Rœser (1) lui permettent d'affirmer que dans toute fermentation alcoolique, il y a production d'aldéhyde.

On peut encore tirer de ses expériences quelques renseignements intéressants sur l'origine de l'aldéhyde et les conditions qui en provoquent la formation plus ou moins abondante. Les quantités d'aldéhyde produite varient d'abord avec la nature de la levure employée, ainsi qu'il résulte d'essais faits avec onze levures diverses, dont neuf étaient des levures de vin; elles varient aussi avec la nature du liquide fermentescible, entre autres avec l'origine du raisin qui a servi à faire le moût. De plus l'oxygène semble jouer un rôle important dans la formation de l'aldéhyde. Toutes choses

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, t. VII, 1893.

égales d'ailleurs, c'est en l'absence d'air que sa production est le plus limitée, et lorsque le renouvellement de l'air en contact avec le moût en fermentation se fait facilement qu'elle est la plus élevée.

Ce dernier fait s'explique, en partie, par une oxydation d'une portion de l'alcool par la levure, au fur et à mesure de sa formation, par un procédé analogue à celui qui permet d'obtenir l'aldéhyde en partant de l'alcool par des moyens chimiques. Cette oxydation est aussi provoquée par l'oxygène dans les fermentations industrielles, à la surface supérieure de la cuve de fermentation.

L'origine de l'aldéhyde peut donc être rapportée à un certain nombre de facteurs dont les principaux sont : la vie normale et physiologique de la levure ; l'oxydation de l'alcool par cette levure ; l'oxydation directe de l'alcool par l'oxygène de l'air.

On ne doit pas non plus juger la qualité d'une fermentation sur la quantité d'aldéhyde produite, surtout en distillerie où la rectification permet d'éliminer ce produit toxique au moins en grande partie.

Il nous est arrivé de ne pas trouver d'aldéhyde dans un tafia brut avec le réactif de U. Gayon. Ce tafia provenait d'une très mauvaise fermentation pleine de bacilles (1), qui donnaient lieu à un dégagement d'hydrogène, et cet hydrogène naissant est probablement la cause de la disparition de l'aldéhyde. En revanche, ce tafia renfermait des quantités notables d'ammoniaque, d'éthylamine, d'éthers et d'acides gras, en sorte que l'hygiène ne gagnait rien au change, en même temps que le rendement et le goût du produit y perdaient énormément.

Maercker (2) range aussi l'alcool amylique au nombre des produits qui prennent toujours naissance dans la fermentation alcoolique. De récentes expériences faites à l'Institut Pasteur, entre autres par M. Perdrix, semblent détruire cette assertion reproduite depuis par un grand nombre d'auteurs. L'alcool amylique ainsi que les autres alcools supérieurs semblent être le produit

(1) Bacillus amylobacter, bacterium termo, etc.
(2) Traduction française, t. I, p. 60 et t. II, p.

de bacilles spéciaux dans les fermentations dites *secondaires*.

(115) *Les fermentations secondaires.*

On comprend sous ce nom les fermentations qui se produisent, en même temps que la fermentation alcoolique sous l'influence, de microbes ou de mucédinées qui ne sont pas des levures alcooliques, et qui accompagnent les cellules de levure.

L'une des plus importantes, est la *fermentation acétique* qui transforme l'alcool en vinaigre. Cette fermentation est due au *mycoderma aceti* (fig. 18 *a*), découvert et étudié par Pasteur, et la réaction est exprimée par la formule :

$$C^2H^6O + O^2 = H^2O + C^2H^4O^2$$

ou par l'ensemble des deux formules :

$$C^2H^6O + O = H^2O + C^2H^4O, \quad \text{et} \quad C^2H^4O + O = C^2H^4O^2$$

qui a l'avantage d'expliquer une origine possible de l'aldéhyde. Mais nous remarquons tout de suite que, dans ces formules, il n'y a plus un simple dédoublement du corps mis en fermentation comme pour la fermentation alcoolique, la présence de l'*oxygène* est ici indispensable. La transformation de l'alcool en acide acétique sous l'influence de la mousse de platine, avait donné un fort argument aux adversaires de la théorie vitaliste, mais Pasteur réfuta leurs objections avee la même précision d'expériences que nous avons vue à la fermentation alcoolique, aussi nous n'insisterons pas sur cette discussion.

Le ferment acétique est une bactérie qui s'agglomère par le moyen d'une substance visqueuse, et forme à la surface des liquides qu'elle fait fermenter une pellicule grisâtre. Ces bactéries se reproduisent par des divisions transversales que l'on voit assez nettement avec un grossissement de 800 à 1.000 diamètres, et les bactéries restant bout à bout se montrent sous la forme de bâtonnets en chaînette, doués d'une réfringence spéciale qui les fait distinguer facilement des ferments similaires.

Les conditions de nutrition du ferment acétique ne s'éloignent pas de celles des levures, comme à elles, il lui faut des sels minéraux, ammoniacaux, et des matières protéiques. Son aliment de prédilection est l'alcool, mais quand celui-ci vient à manquer, il consomme l'acide acétique jusqu'à ce qu'on lui restitue l'alcool. Il lui faut un milieu acide et il est très sensible aux antiseptiques, ce qui justifie le soufrage des tonneaux employés depuis des siècles.

Le *mycoderma aceti*, tel que le représente la figure 18, est sous la forme la plus répandue en France, mais, ce végétal n'est pas identique à lui-même, et il est probable qu'il renferme autant de variétés que les levures, plusieurs de ses formes ont été étudiées par M. Duclaux, M. Mayer, M. Wurm, formes qui donnent des voiles plus ou moins épais et plus ou moins gélatineux. Il existe aussi d'autres microbes pouvant transformer directement le sucre en acide acétique.

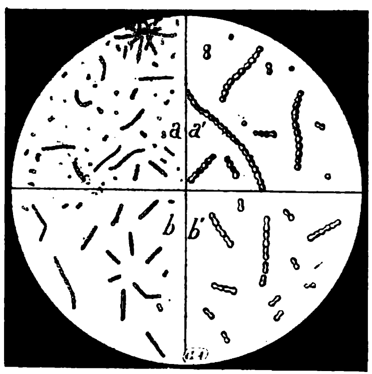


Fig. 18.

a, ***Mycoderma acéti***, Gross. 450
a', — Gross. 800
b, ***Ferment lactique***, Gross. 450
b', — Gross. 800

Le *ferment lactique* est encore un ferment aérobie, et qui ressemble au *mycoderma aceti* comme on le voit par la figure 18, mais il n'a pas la réfringence du précédent, la séparation des articles d'un bâtonnet est plus difficile à observer avec des grossissements faibles, et les bâtonnets sont plus courts et plus droits. Ce ferment a été également découvert et étudié par Pasteur. Son milieu de prédilection est le lait, mais on le trouve aussi dans les fermentations d'eau de riz, de graines de légumineuses, dans les jus fermentés de betterave et de canne, dans les eaux mères d'amidonnerie, dans l'eau

sure des levains de boulangerie, etc. La réaction qu'il produit est encore plus simple au point de vue chimique que les précédentes, car on retrouve en acide lactique un poids sensiblement égal à celui du sucre disparu, elle se formule :

$$C^6H^{12}O^6 = 2(C^3H^6O^3)$$

correspondant à un simple dédoublement moléculaire de la matière sucrée. Mais cette action du ferment se trouve assez rapidement arrêtée par l'excès même d'acide produit, si l'on n'a pas eu soin de saturer d'avance le liquide par du carbonate de chaux ; dans ce dernier cas, l'apparence de la fermentation, grâce au dégagement d'acide carbonique du carbonate, est exactement celle d'une fermentation alcoolique. Seulement, si un excès d'acidité arrête la fermentation lactique, elle ne tue pas pour cela le ferment qui semble jouir d'une résistance assez considérable ; car s'il est bien prouvé qu'il se reproduit par sissiparité, comme le ferment acétique, il semble prouvé par Hüeppe, dont les résultats n'ont pas été contredits, que sa reproduction se fait également par spores, ce qui lui assignerait le nom de *bacillus lacticus*. Bacille ou ferment, c'est certainement l'un des plus terribles ennemis d'un bon rendement en fermentation, tant par le sucre qu'il dévore inutilement que par l'acide lactique qu'il sécrète et qui donne à d'autres bacilles un excellent terrain de culture. La température la plus favorable à sa fermentation est comprise entre 33 et 45°, température plus élevée que celle que préfèrent les levures, un abaissement de température est donc un des meilleurs moyens de le combattre, mais pourtant insuffisant. Contrairement aux assertions de Maerker, on n'a jamais vu ce ferment pur donner naissance à de l'alcool, de la mannite ou des gommes. En revanche d'autres microbes semblent avoir produit la même fermentation lactique, dont le *micrococcus prodigiosus*, et quelques ferments rencontrés dans l'économie animale. En outre le ferment lactique, ainsi que l'a prouvé M. Duclaux, ne peut se développer dans une atmosphère d'acide carbonique, il épuise rapidement l'oxygène des liquides où il fermente, c'est donc bien un

ferment aérobie quoiqu'en ait dit Maerker [1], et si cet auteur a vu dans la fermentation lactique un dégagement d'acide carbonique, c'est que les liquides en fermentation renfermaient des carbonates en dissolution, ou que le ferment lactique n'était pas pur.

La *fermentation butyrique* est caractérisée par la transformation de certains corps en *acide butyrique*, acide qui communique au beurre le goût de rance. Les corps susceptibles de subir cette transformation sont assez nombreux, ce sont principalement : l'acide lactique ou plutôt le lactate de chaux, les sucres, les matières amylacées, les matières albuminoïdes, les acides tartrique, citrique, malique, mucique, etc., sous formes de sels de chaux neutres. Cette fermentation peut se produire sous l'influence d'un assez grand nombre d'organismes ou *ferments butyriques*, dont nous nous bornerons à étudier les mieux connus, dans leur action sur les sucres, les matières amylacées et le lactate de chaux. D'une manière générale, la formule de la réaction a été représentée par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Glucose}}{C^6H^{12}O^6} = \underset{\text{Acide lactique}}{2C^3H^6O^3} = \underset{\text{Acide butyrique}}{C^4H^8O^2} + \underset{\text{Acide carbonique}}{2CO^2} + \underset{\text{Hydrogène}}{2H^2}$$

mais les réactions réelles sont beaucoup plus complexes, et variables avec chaque ferment.

Le *vibrion butyrique* de Pasteur ou *bacillus butyricus* est le premier qui ait été étudié. On le rencontre dans toutes les fermentations lactiques du lait en présence du carbonate de chaux, tellement que l'on a cru pendant longtemps que l'acide butyrique était un produit secondaire et inévitable de la fermentation lactique.

La figure 19 *a* donne l'image de ce bacille que l'on peut voir parfois en filaments beaucoup plus longs que ceux de la figure. Au microscope, ces vibrions sont animés de mouvements agiles, beaucoup plus lents et flexueux dans les longues chaînes, mais que l'on n'aperçoit que sur les vibrions placés au centre de la lamelle où ils sont privés d'air, tandis que sur les bords

---

1. Maerker, traduction française, t. II, p. 120 et suivantes.

de la lamelle tout mouvement disparaît. C'est en effet un *anaérobie*, et pour l'observer longtemps avec tous ses mouvements, il faut employer la chambre humide à gaz de la figure 9, dans laquelle on maintient une atmosphère de gaz inerte, acide carbonique, azote ou hydrogène.

Fig. 19.
a, ***Bacillus butyricus*** (Pasteur).
b, — ***amylobacter*** (Van-Tieghem)
c, — ***butylicus*** (Fitz).
d, — ***orthobutylicus*** (Grimbert).

Cet être microscopique prend son oxygène aux hydrocarbones qu'il décompose, alors que l'oxygène libre le tue ou le paralyse; cette propriété, commune aux anaérobies et qui peut paraître étrange, a été expliquée par M. Duclaux. Tous les êtres ont besoin d'oxygène pour vivre, c'est leur source de force, mais l'oxygène libre est plus puissant que combiné et peut alors pousser trop loin son pouvoir comburant. Il y a pour chaque cellule un degré convenable de dilution ou de combinaison de l'oxygène. Ainsi, les animaux terrestres vivent dans l'air qui n'est qu'une dilution d'oxygène, et meurent rapidement dans une atmosphère d'oxygène pur de même que les microbes les plus aérobies, ainsi qu'il découle des expériences de Paul Bert.

Dans ces conditions de privation d'air, le vibrion butyrique, en milieu neutre ou légèrement alcalin, fermente rapidement le lactate de chaux et probablement aussi d'autres substances hydrocarbonées. Mais dans son action sur le lactate qui est la plus étudiée, les produits de la réaction offrent de grandes irrégularités, ainsi les proportions d'acide carbonique et d'hydrogène ne sont que rarement d'accord avec la formule précédente. Le rapport de ces gaz varie suivant le courant

de la fermentation, et parfois l'hydrogène manque. Parfois on rencontre comme produit de la fermentation l'*alcool butylique* $C^4 H^{10} O$, parfois cet alcool fait défaut. A. Fitz a observé dans certaines cultures de ce vibrion l'alcool ordinaire; on y a signalé d'autres acides gras que l'acide butyrique, entre autres l'acide acétique. Ces variations sont d'après Pasteur dues à l'âge du vibrion et à l'influence du milieu. Enfin, nous devons tenir compte que, lorsque Pasteur a étudié ce microbe, il n'avait pas encore poussé la perfection de ses procédés de cultures pures à la précision qu'elles atteignent aujourd'hui, et que, comme pour les levures, le vibrion qu'il a décrit n'est que le type d'une classe de ferments renfermant de nombreuses variétés ce qui suffirait à expliquer les irrégularités constatées.

Avant de quitter cette fermentation du lactate de chaux rappelons pour mémoire que A. Fitz (1) a montré que ce corps pouvait subir les *fermentations propionique* et *valérianique* sous l'influence d'autres microbes.

Le *bacillus amylobacter* (fig. 19 *b*) a souvent été confondu avec le vibrion butyrique qu'il accompagne souvent, et auquel il ressemble sous ses formes de bâtonnet et de spores, la plus grande différence est, que pour l'amylobacter la sporulation se fait par un renflement en tête.

Trécul, qui le premier l'avait observé avait désigné trois classes d'*amylobacters* correspondant aux trois formes, et leur avait donné ce nom générique à cause de la propriété qu'elles possèdent de bleuir par l'iode comme les grains d'amidon.

Depuis, Van Tieghem, qui a étudié de plus près ce microbe, a montré que ces trois variétés n'étaient que trois états d'un même ferment. De plus, la formation transitoire d'amidon dans le protoplasma, qui a lieu au moment de la sporulation et donne lieu à la réaction par l'iode, n'est pas caractéristique de l'amylobacter, on la retrouve dans un grand nombre d'es-

1. A. Fitz. — Ueber Spaltpilzgahrungen. — *Berichte der Deut. chem. Gesellchaft*, t. IX et suivants.

pèces. Les fermentations produites par l'amylobacter sur les lactates, sur les sucres et l'amidon, ressemblent absolument aux fermentations du vibrion butyrique, et dans l'état actuel, ce que nous avons dit des conditions de vie et des réactions produites par ce dernier, s'applique en tous points à l'amylobacter.

Ce qui distingue surtout l'amylobacter est qu'outre ces produits il fait fermenter la cellulose, et que, si cette propriété est partagée par d'autres ferments une fois formés, l'amylobacter est le seul connu qui puisse se développer avec la cellulose pour unique aliment. Malgré cela, ce bacille préfère le sucre qu'il détruit avant de toucher à la cellulose, de même il distingue entre celluloses et celluloses, et, s'il peut entièrement détruire une plante à l'état d'embryon, il est obligé de s'arrêter devant des cellules lignifiées ou minéralisées, comme les fibres du bois, l'écorce, etc. Le *rouissage* n'est qu'une action en grand de l'amylobacter, qui détruit une partie de la cellulose en respectant les fibres textiles. Dans son action sur les cellules jeunes vivantes, il ne s'attaque qu'à l'enveloppe extérieure des cellules qu'il dénude sans toucher au protoplasma, respectant la matière grasse et la matière azotée.

Cette action de la digestion et de la fermentation de la cellulose par l'amylobacter, se produit évidemment sous l'influence d'une diastase, comme toutes les dissolutions analogues. Bien que jusqu'ici, cette diastase n'ait pas été isolée ce n'est pas une raison suffisante pour en nier l'existence, car, comme l'a montré M. Duclaux, une cellule vivante ne sécrète pas à chaque instant toutes les diastases qu'elle est capable de produire, elle semble au contraire ne les produire qu'au fur et à mesure de ses besoins et suivant le milieu nutririf qu'elle doit se rendre assimilable. Et, dans l'état actuel de nos connaissances sur ce microbe, rien ne nous dit que par des phénomènes de symbiose, analogues à ceux que nous verrons bientôt, l'amylobacter en présence de la levure ne permet pas dans certains cas la transformation de la cellulose en alcool. Ce microbe en tout cas devait arrêter notre attention par sa propriété de produire la fermentation butyrique des

sucres et de l'amidon, puis sa présence dans les levures pressées est la cause probable des levures qui coulent, qu'on ne peut conserver.

Le *bacillus butylicus* de Fitz (¹), est encore un ferment analogue, que nous voyons (fig. 19 *c*), mais qui présente cette particularité que capable de produire la *fermentation butyrique* du sucre, de la glycérine et de la mannite, il est incapable de produire la même fermentation des lactate, malate, citrate, tartrate de chaux ou d'ammoniaque, quoique pouvant fort bien vivre dans ces milieux qu'il ne fait pas fermenter. Ici il n'y a pas à faire intervenir l'influence d'une diastase, ces derniers milieux étant assimilables plus facilement que les premiers, mais une influence de l'oxygène. La fermentation butyrique étant essentiellement anaérobie, il faut que le microbe qui la produit trouve dans la substance assez d'oxygène pour sa propre existence, ou sinon, au contact d'oxygène, il vivra aux dépens de la substance, mais, sans la faire fermenter ; fait analogue à ce que nous vu à la reproduction des levures.

Des trois hydrocarbones connus que fait fermenter le *bacille butylique*, sucre, glycérine et mannite, les deux derniers fermentent sans inversion, de même le sucre inverti, mais le sucre de canne doit subir l'action de la sucrase sécrétée par le ferment. Il ne fait pas fermenter la fécule, preuve qu'il ne sécrète pas d'amylase. La température la plus favorable à son développement est vers 40°. Dans les milieux aérobies où il vit sans fermenter, il est sans mouvements ; au contraire, dans les liquides qu'il fermente, il est animé de mouvements assez rapides.

Ses produits de fermentation sont l'acide carbonique et l'hydrogène, puis les acides lactique, succinique et butyrique, ainsi que de l'*alcool butylique*, la présence de ce dernier a fourni le nom du microbe. La proportion de ces différents corps est variable avec chaque fermentation et avec les trois hydrocarbones qu'il fait fermenter.

L'acide butyrique est en plus forte proportion avec

1. A. Fitz. — Loc. cit.

le sucre, l'alcool butylique avec la mannite et la glycérine. Ces fermentations ne se poursuivent d'ailleurs pas fort loin, le bacille ne pouvant pas vivre dès que le liquide renferme plus de 1 % d'acide butyrique et 1,05 % d'alcool butylique.

Le *bacillus butylicus* est très répandu, on le retrouve presque invariablement dans l'eau de lavage du foin où il est accompagné d'un autre microbe trouvé également par Fitz (1), le *bacillus œtylicus* qui vit à la même température de 40°, et a la propriété de faire fermenter la glycérine en la transformant en alcool éthylique, acide carbonique et hydrogène.

Le *bacillus orthobutylicus* (fig. 19 *d*), est encore un ferment butyrique qui se présente sous forme de bâtonnets cylindriques de 3 à 6 μ de long sur 1,5 μ de large. Le bacille jeune présente souvent la forme de battant de cloche, mais après quelques jours de fermentation on ne rencontre plus que la forme droite munie de spores. Ce bacille a été découvert et isolé par M. L. Grimbert (2), c'est encore un microbe anaérobie, et doué, lorsqu'il est jeune et privé d'oxygène, d'une extrême mobilité. Ses spores résistent 16 minutes à la température de 80° mais à 85° elles sont détruites.

Il fait fermenter les substances suivantes : glycérine, mannite, glucose, saccharose, maltose, lactose, galactose, arabinose, amidon et fécule, dextrine, inuline, en présentant les particularités suivantes :

a) Il fait fermenter le saccharose, le maltose et le lactose sans les invertir ;

b) Il transforme entièrement l'amidon en maltose et en dextrine, mais cette dernière est transformée en maltose au fur et à mesure de sa production, aussi ne peut-on déceler sa présence dans le cours de la fermentation ;

c) Il transforme la dextrine en maltose au moyen d'une diastase spéciale ;

(1) A. Fitz. — Loc. cit.

(2) A ceux de nos lecteurs qui désirent avoir une idée exacte des difficultés que présente une étude un peu complète de l'un de ces infiniments petits, nous recommandons tout particulièrement la lecture du mémoire de M. L. Grimbert, qu'ils trouveront dans les *Annales de l'Institut Pasteur*, 7e année, 1893, pages 353 et suiv.



d) Il attaque directement l'inuline sans la transformer en lévulose.

Il est sans action sur le tréhalose, l'érythrite, le glycol, le lactate et le tartrate de chaux, la gomme arabique.

Ses produits de fermentation sont :

L'alcool butylique normal avec un peu d'alcool isobutylique, l'acide butyrique normal, l'acide acétique, et dans certaines circonstances un peu d'acide formique. Les gaz dégagés sont formés d'acide carbonique et d'hydrogène, la proportion de l'hydrogène diminuant du commencement à la fin d'une fermentation. La fermentation serait rapidement arrêtée si l'on ne saturait pas par du carbonate de chaux les acides butyrique et acétique au fur et à mesure de leur production. La température la plus favorable au *B. orthobutylicus* est 35°.

Pour mettre en évidence l'action et la présence de la diastase sécrétée par le microbe, M. Grimbert a ajouté à une solution de dextrine, le liquide provenant d'une fermentation sur pomme de terre, puis additionné d'essence de moutarde qui arrête la vie des bacilles sans influencer l'action des diastases formées.

Il a ainsi obtenu la transformation en maltose d'une notable proportion de dextrine, alors que, dans un mélange semblable, mais chauffé préalablement à 100° pendant quelques minutes pour détruire la diastase si elle existait, il n'a reconnu aucune transformation.

Inversement, le liquide provenant d'une fermentation de dextrine, et traité de la même façon, provoquait la liquéfaction de l'empois d'amidon en deux jours et sa transformation en maltose. C'est donc bien à une diastase, et probablement à une diastase unique, sorte d'amylase se différenciant de l'amylase du malt par sa facilité a saccharifier la dextrine, qu'il faut attribuer la transformation.

Le même essai, répété avec du liquide provenant d'une fermentation de *bacillus orthobutylicus* sur du sucre de canne, et mis en contact avec une nouvelle solution de saccharose, n'a produit aucune inversion de ce dernier, malgré la précaution de broyer au mortier les dépôts du bacille pour mettre en liberté la

diastase qui aurait pu rester à l'intérieur des cellules du ferment. Il y a pourtant fermentation. Ce fait, déjà signalé par d'autres expérimentateurs et pour d'autres microbes, infirme l'hypothèse longtemps admise, que nul être organisé ne pouvait assimiler le sucre de canne qu'après inversion préalable.

Outre ces réactions curieuses et particulières au *B. orthobutylicus*, M. Grimbert a étudié sur le même microbe l'action de diverses influences qui peuvent s'étendre par analogie à d'autres ferments, levures ou bacilles, telles que : l'influence de la durée de la fermentation, de l'âge de la semence, de la réaction du milieu, de l'éducation de la semence. Cette dernière influence de l'*éducation de la semence* est ici assez particulièrement évidente pour que nous entrions dans quelques détails des expériences de M. Grimbert.

Deux cultures faites, dans les mêmes conditions et avec la même solution de sucre inverti, mais ensemencées, l'une avec une semence de *B. orthobutylicus* provenant de culture sur pomme de terre, l'autre avec une semence provenant de culture sur sucre inverti, ont donné les résultats suivants :

Origine de la semence	Alcool butylique	Acide acétique	Acide butyrique	$\frac{a}{b}$
Pomme de terre. .	0,105	0,062	0,368	$\frac{1}{5}$
Sucre inverti .	0,069	0,100	0,366	$\frac{2}{5}$

où le rapport de l'acide acétique à l'acide butyrique $\frac{a}{b}$ varie du simple au double. Mais cette influence s'accentue encore lorsqu'on compare les fermentations sur inuline et sur glucose. Le *B. orthobutylicus*, ne donne avec l'inuline que de très faibles quantités d'alcool butylique, or après six cultures en passage sur inuline puis ensemencement sur glucose, M. Grimbert a obtenu une exaltation de la fonction alcool avec diminution notable de la fonction acide butyrique. Cette même semence cultivée six fois sur glucose reprend avec

ce dernier ses fonctions normales, mais ensemencée à nouveau sur l'inuline, sa fonction ferment se trouve à nouveau exaltée et la proportion de l'alcool butylique engendrée devient plus forte de beaucoup que la normale des cultures sur inuline. Ce fait ne peut s'expliquer que par une hypothèse analogue à celle de l'atténuation ou de l'exaltation des vaccins ou des virus constatées pour plusieurs microbes pathogènes, comme la rage ou la bactéridie charbonneuse, hypothèse d'accord avec les faits et les résultats. Ce qui découle de ces faits, toute hypothèse à part, *c'est que le milieu dans lequel a vécu un ferment, peut exercer une influence considérable sur l'activité de ce ferment* (1).

De l'étude des deux derniers bacilles, nous devons en outre tirer l'explication de la présence *du fusel*, ou ensemble des impuretés de queue que l'on rencontre dans les flegmes de distillerie. Le fusel n'est pas un corps unique, sa composition est même assez variable suivant l'origine et la nature de la matière première, et surtout suivant les soins apportés à la fermentation ; mais, on peut diviser les corps qui le composent en deux classes principales, les alcools supérieurs, et les éthers formés par la combinaison de ces alcools ou de l'alcool éthylique avec les acides gras.

Nous avons déjà vu l'origine des acides acétique, lactique, formique et butyrique, on a déjà constaté l'existence de divers ferments (2) qui produisent d'autres acides gras tels que les acides valérique et caproïque. Voilà pour l'origine des éthers.

Nous avons vu deux microbes qui donnent naissance outre les acides à l'alcool butylique, et nous allons en examiner un qui produit l'alcool amylique. Quoique l'on n'ait pas encore étudié et isolé tous les microbes capables d'engendrer les différents corps qui composent le fusel, il nous semble que c'est à eux que nous devons attribuer la présence de ces corps. Nous ne saurions adopter la théorie de Brefeld qui considère ces impuretés comme des produits excrémentiels des levures. Si l'on veut consi-

(1) L. Grimbert.— Loc. cit.
(2) Voir la *Microbiologie* de M. Duclaux.

dérer que le *B. butylicus* se rencontre dans les macérations de foin, que le *B. orthobutylicus* se rencontre dans les macérations de graines de légumineuses. Il est bien probable que ces ferments, ou leurs spores, sont entraînés par les eaux de pluie dans les rivières, d'où ils sont repris avec les eaux nécessaires aux nombreuses opérations de la distillerie ; les eaux de lavage des cuves de fermentation suffiraient à ensemencer ces dernières.

L'origine du microbe suivant confirme notre hypothèse.

Le *bacille amylozyme*, a été découvert en effet par M. L. Perdrix dans les eaux de la Seine et de la Vanne, et il a fait ses premiers ensemencements avec ces eaux prises dans les conduites de la Ville de Paris, ou mieux avec les dépôts laissés par ces eaux sur les filtres Chamberland (1).

Dans les conditions ordinaires de culture, ce microbe mesure de 2 à 3 μ de longueur sur 1/2 μ de largeur et est arrondi à ses extrémités. Il est mobile, et se réunit par couples ou chaînes dont les mouvements sont d'autant plus lents que la chaîne est plus longue. Cette mobilité est diminuée ou arrêtée par l'oxygène de l'air. C'est un microbe anaérobie, il vit très bien dans le vide ou dans des milieux d'hydrogène, d'azote ou d'acide carbonique.

La température la plus favorable à son développement est 35° C. De 20 à 25° la fermentation va encore bien, mais est plus lente, de 16 à 17° très lente ou nulle. Au-dessus de 44° le bacille ne se développe plus, mais il peut rester 10 jours à 50 ou 55° sans être tué. Ses spores résistent plus de 10 minutes à 80° et gardent fort longtemps la propriété de se reproduire : de 5 à six mois en cultures légèrement acides, et plus de 18 mois en milieu neutre.

L'amylozyme se développe bien dans les bouillons ordinaires de culture, *il fait fermenter les sucres et agit énergiquement sur la matière amylacée.*

Il est sans action sur la cellulose et le lactate de

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, 5e année, 1891, pages 286 et suivantes.

chaux, propriétés qui le différencient du bacillus amylobacter de Van Tieghem et du vibrion butyrique de Pasteur.

La culture s'arrête toujours quand l'acidité atteint de 0 gr. 10 à 0 gr. 12 pour 100 centimètres cubes (évaluée en SO^4H^2), et la fermentation ne peut s'établir avec une acidité initiale de 0 gr. 055. Nous retrouvons ici un fait d'ordre général pour les antiseptiques : *l'acidité qui peut empêcher un commencement de développement, est impuissante à arrêter une fermentation en activité.* On ne peut donc le faire fermenter qu'en maintenant la neutralité par le carbonate de chaux. Les milieux trop alcalins ne lui conviennent pas non plus, il ne se développe pas quand la dose de potasse atteint 0 gr. 08 pour 100 centimètres cubes.

Malgré tout l'intérêt que présente son action sur les sucres, nous nous bornerons à dire qu'il décompose ces produits en fournissant de l'acide butyrique et de l'acide acétique.

Sur le glucose, les produits de la fermentation ont donné pour 16 grammes, 6 de glucose :

Acide butyrique	6,685	8 gr 160
Acide acétique	1,775	

L'équation des résultats après une fermentation complète de neuf jours est sensiblement :

$$46C^6H^{12}O^6 + 18H^2O = 224H + 94CO^2 + 15C^2H^4O^2 + 38C^4H^8O^2$$

L'acide acétique ne se forme que pendant les trois premiers jours, et à peine sensiblement du troisième au neuvième jour, en sorte que, pendant cette seconde période, la formule précédente un peu compliquée se réduit à :

$$C^6H^{12}O^6 = 4H + 2CO^2 + C^4H^8O^2$$

comme dans la fermentation butyrique typique. Ces formules ont été contrôlées par plusieurs expériences de fermentations dans le vide, pour éviter les erreurs dues à la solubilité des gaz.

Les résultats sur le saccharose et le lactose ont donné des résultats de même ordre. Pas d'alcools, production d'acides butyrique et acétique, ce dernier

paraissant ne se former que pendant la période de développement des spores. Les résultats à 20° ont été les mêmes qu'à 35°, mais avec fermentation plus lente.

Notons cependant que la transformation du saccharose en acides s'est produite sans inversion.

L'*amylozyme* vit très bien sur pommes de terre et tous les milieux renfermant de l'amidon cuit, haricots, lentilles, grains, etc., mais avec l'amidon seul il faudrait joindre un bouillon nutritif, sinon la culture devient très lente.

Il se forme encore des acides acétique et butyrique, la proportion de ce dernier augmentant avec le temps, et le mélange gazeux est plus riche en acide carbonique, mais ici la transformation n'est plus directe comme dans le cas des sucres. Il y a d'abord formation d'un sucre par hydratation de la fécule, sucre que l'on peut trouver en grande partie dans les cultures, grâce à la sensibilité du microbe aux acides.

Mais si l'on sature par la craie, le sucre formé fermente au fur et à mesure de sa production, et en fin d'expérience, on n'a qu'un mélange d'acétate et de butyrate de chaux. Pourtant ici apparaissent quelques produits que nous n'avions pas avec les sucres.

Les cultures en milieux amylacés ont toujours une forte odeur d'alcool amylique et d'acide butyrique.

En distillant ces cultures on y trouve 2 cc.,3 à 2 cc. d'alcools pour 100 grammes de pomme de terre employés, et les alcools dosés par la méthode de Duclaux donnent la proportion de 25 à 28 % d'alcool amylique pour 72 à 75 % d'alcool éthylique.

Le sucre formé est très voisin du glucose dont il ne diffère que par son pouvoir rotatoire plus faible, et son point de fusion plus bas, ce qui nous indique la sécrétion par le microbe d'une nouvelle diastase analogue à l'amylase.

Plusieurs études faites ont donné des résultats très peu différents, citons ces résultats pour une étude faite sur pommes de terre à 25 % de matière sèche dont 18 % d'amidon.

25 grammes de ces pommes de terre sont additionnés de 200 cc. d'eau, et stérilisés à l'autoclave dans un

ballon à long col, après refroidissement ensemencés avec l'amylozyme et le ballon fermé à la lampe est porté dans l'étuve à 35°. Six jours après, la culture est terminée, les gaz recueillis sur la pompe à mercure, Les résultats de l'analyse sont :

Poids de fécule mis en fermentation		0,18 × 25 = 4gr5
— — restant en fin de culture		0,0
Sucre		3,52
Hydrogène	253cc	ou 0,022
Acide carbonique	207	ou 0,407
Alcool éthylique	0,41	ou 0,347
Alcool amylique	0,10	ou 0,082
Acide acétique		0,080
Acide butyrique		0,175

La formule de cette réaction serait complexe, mais on peut s'en faire une idée en admettant que le carbone retrouvé est tout entier emprunté à l'amidon comme l'indique le tableau suivant :

3gr52	de sucre correspond à	3gr17 de fécule
0,407	d'acide carbonique correspond à	0,25 —
0,347	d'alcool éthylique —	0,41 —
0,082	d'alcool amylique —	0,12 —
0,08	d'acide acétique —	0,07 —
0,175	d'acide butyrique —	0,21 —
	Total	4gr23 de fécule

Nous retrouvons donc 4 gr. 23 de fécule sur 4 gr. 5 employés, soit 94 % dont 70 % en sucre et 11 % en alcools. Quant aux 6 % manquant, on peut les supposer transformés en dextrine. Remarquons que dans ces essais, le liquide n'a pas été neutralisé par le carbonate de chaux, sinon le bacille trouvant un milieu favorable aurait continué son action sur le sucre produit, d'une façon analogue à celle dont il agit sur le glucose, en transformant ce sucre en acides butyrique et acétique, ce n'est que grâce à cette sensibilité du microbe aux acides que le sucre est resté indemne au moins pour la plus grande partie.

Ce phénomène, remarqué par M. L. Perdrix, lui a donné l'idée d'étudier ce que pourrait produire la *symbiose du bacille amylozyme avec la levure de*

bière, étude qui est pour nous du plus haut intérêt. Trois séries d'expériences ont été faites :

1° Une culture d'amylozyme comme la précédente a été stérilisée à l'étuve, puis ensemencée avec de la levure pure ;

2° La culture d'amylozyme n'a pas été stérilisée et la levure pure introduite à un moment quelconque :

3° Le bacille amylozyme et les *jeunes levures pures* ont été ensemencés ensemble à l'origine des cultures.

Les résultats ont été les mêmes, tout se passe comme si chacun des microbes était seul, le bacille décomposant la fécule et donnant au saccharomyces le sucre dont il a besoin ; l'on obtient ainsi 90 % de l'alcool que pourrait fournir la fécule, et, dans ces conditions il y a très peu de fécule restant en dextrine et une proportion moins considérable d'acides acétique et butyrique.

Les grains, la farine peuvent fermenter de même à condition que le moût ne soit pas trop concentré.

Mais l'alcool produit par la symbiose des deux microbes contient encore de l'alcool amylique comme précédemment. Pour fixer sa provenance, M. Perdrix a retiré le sucre d'une culture d'amylozyme et l'a dissous dans l'eau de levure, puis a constaté que ce liquide distillé ne renfermait aucune substance influant sur le compte-gouttes de Duclaux et donnait bien cent gouttes comme l'eau distillée, c'est-à-dire ne contenait pas d'alcools. Ce liquide a ensuite été stérilisé, refroidi et ensemencé de levure pure. Le même essai fut fait en même temps sur une solution de glucose.

Les deux essais donnèrent les mêmes résultats, en rassemblant les produits alcooliques condensés, les ramenant à 5 degrés alcoométriques, on trouve pour l'un et l'autre 129 gouttes au compte-gouttes Duclaux, soit le chiffre indiquant l'alcool éthylique pur.

Donc la fermentation du sucre de fécule par la levure pure ne donne pas d'alcool amylique, celui que l'on constate dans les fermentations d'amidon par l'amylozyme et la levure est donc bien dû, et seulement dû au premier de ces microbes.

M. Perdrix conclut de ces essais que l'alcool amylique que l'on rencontre toujours en industrie pro-

vient de ce qu'on n'y fait pas de cultures pures, et pour preuve suprême, il a fait l'essai suivant :

200 grammes de pommes de terre cuites sont étendus d'eau et additionnés de 10 grammes de farine de maïs et 40 grammes de malt, le mélange est maintenu trois heures entre 55 et 58 degrés ; le liquide est ensuite filtré, stérilisé et ensemencé de levure pure. Comme précédemment on a de l'alcool éthylique pur.

Il est probable que le ferment amylozyme est apporté en industrie par les eaux de trempage du malt, ou les eaux qui servent à faire le lait de malt, ou les eaux de lavage. Or, nous avons vu que ce bacille résiste très bien dix jours à une température de 50 à 55 degrés, voisine de celle que nous employons en industrie pour la saccharification ; il résiste même plus de dix minutes à 80 degrés conservant sa propriété de se développer sur l'amidon en milieu convenable. Dans la pratique actuelle nous avons toutes les conditions de ce milieu convenable : l'amidon n'est jamais complètement saccharifié et l'acide carbonique qui se dégage par les levures forme le milieu sans air nécessaire à la vie de ce bacille anaérobie.

Tel est le résumé de l'étude de M. L. Perdrix, à laquelle nous renvoyons nos lecteurs, car le *B. amylozyme* offre au distillateur un double sujet d'étude. D'abord par sa production d'alcool amylique, propriété absolument nouvelle ; ensuite par sa propriété de vivre à côté des levures et de leur permettre de transformer directement les matières amylacées en alcool, propriété qui, jusqu'alors, n'avait été reconnue que pour quelques mucédinées en symbiose avec la levure, et dont l'action est utilisée dans la distillerie des pays d'Orient. Par suite, cette découverte ouvre le champ à des recherches qui pourront être un jour d'un grand intérêt industriel.

Pour clore cette étude rapide des ferments secondaires, nous nous bornerons à donner la figure du *leuconostoc mésentéroïdes* ou *frai de grenouilles* des sucreries, ferment que l'on peut rencontrer trop souvent dans les mélasses et les jus de betterave. Cette bactérie est une petite cellule ronde, qui, le plus souvent se dispose en chapelets, s'entourant d'une masse

relativement considérable de matière gélatineuse ou gommeuse, grâce à laquelle les chapelets se réunissent en zooglées, d'un volume énorme comparé aux dimensions de la bactérie. Dans ces zooglées, les bactéries proprement dites ont l'apparence de spores qui sont ensuite mises en liberté par liquéfaction de l'enveloppe gommeuse. Cette gomme est surtout formée d'arabinose unie à quelques produits encore assez mal définis. La principale fonction de cette bactérie est, en effet, de transformer le sucre cristallisable en mal-

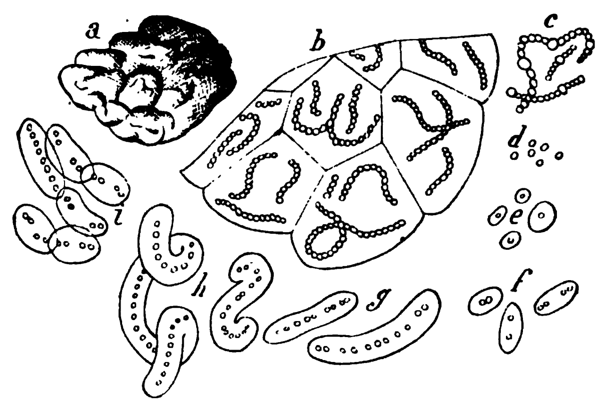


Fig. 20. — *Leuconostoc mésentéroïdes* (d'après Van Tieghem)
a. Zooglée grandeur naturelle. — *b*, Coupe d'une zooglée adulte. — *c* à *i*, Stades successifs depuis la spore adulte jusqu'à la reconstitution de la zooglée. (De *b* à *i* 500 diamètres.)

tose et arabinose, et cette dernière, sous l'influence des acides minéraux étendus donne naissance au *furfurol*. La (fig. 20) rend compte des différentes phases de la vie de ce microbe.

(116) *Les moisissures.*

Les *moisissures* n'ont été considérées jusqu'à présent en distillerie que comme des ennemis de tout bon travail, et un indice de malpropreté. Cette manière de voir, qui est d'ailleurs toujours justifiée en Europe, nous dispense de nous étendre longuement sur ces infi-

niments petits que le distillateur doit, en général, éviter à tous prix par une propreté méticuleuse, par les antiseptiques, les stérilisations, suivant les cas.

Les moisissures sont des *champignons* inférieurs appartenant, en général, au groupe des mucédinées, et se composant d'un mycélium, qui s'étend dans le liquide ou le milieu nutritif à l'abri de l'air ou dans une atmosphère très confinée; puis sur les parties de ce mycélium en contact avec l'air prennent naissance les organes de fructification. Ce sont des rameaux ou tubes sporifères à l'extrémité desquelles se développe une tête sporifère (sporange, asque, etc.), qui, arrivée à maturité, met en liberté les spores qui donneront naissance à de nouvelles générations par ensemencement dans un milieu nutritif convenable.

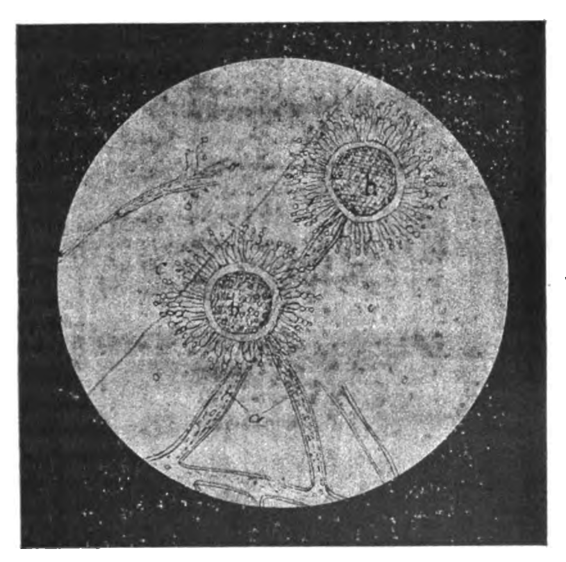


Fig. 21. — *Aspergillus niger.*

Dans ces *conditions normales de vie*, les moisissures s'attaquent aux substances organiques et en particulier à l'amidon et au sucre qu'elles brûlent in-

tégralement sans production intermédiaire d'alcool. Elles brûlent même l'alcool qu'elles peuvent rencontrer dans le milieu nutritif, et donnent naissance à divers acides dont l'acide oxalique, et en quantité suffisante pour arrêter le développement des levures. On voit donc combien elles sont à redouter en général.

L'*Aspergillus Niger*, qui a été étudié principalement par M. Raulin, M. Van Tieghem et M. Duclaux, est l'une des moisissures les plus répandues et que l'on a le plus à combattre; pour s'en procurer, il suffit d'abandonner une demi-heure à l'air une tranche de pain humide et de l'enfermer ensuite sous une cloche. Au bout de deux jours, le pain est recouvert de longs filaments blancs, soyeux, terminés par une petite tête noire, c'est l'aspergillus niger. La facilité de se le procurer, puis de le récolter et de peser la récolte ont permis de vérifier, sur cette plante, l'influence des milieux nutritifs et d'étudier la sécrétion des diastases de façon à en déduire les théories générales de l'influence des milieux sur les êtres microscopiques, théories qui s'étendent aux levures et aux bactéries.

Le liquide le plus favorable au développement est le liquide de Raulin ainsi composé :

Eau	1500 grammes
Sucre candi.	70
Acide tartrique.	4
Nitrate d'ammoniaque.	4
Phosphate d'ammoniaque. . . .	0,60
Carbonate de potasse	0,60
» de magnésie	0,25
Sulfate de zinc.	0,07
» de fer	0,07
Silicate de potasse.	0,07

On place ce liquide dans des cuvettes plates sur une épaisseur de 2 à 3 centimètres, à une température de 35° dans l'air humide, et on sème à la surface des spores de l'aspergillus précédemment récolté. Après vingt-quatre heures, le mycélium forme un voile blanchâtre sur toute la surface du liquide ; le second jour, la fructification commence, et au bout de trois jours, la végétation est terminée. Dans ce milieu nutritif, absolument artificiel et dont on peut vérifier les dif-

férents composants par l'analyse chimique, il a été facile de vérifier l'influence de la proportion ou de la suppression des diverses substances sur le poids de la récolte, ainsi que l'effet de l'addition d'autres substances.

D'après les expériences de Raulin, la quantité de liquide dont nous avons donné la formule plus haut, est épuisée après deux ensemencements successifs et donne une récolte totale de 26 grammes d'aspergillus pesé sec. La suppression du carbonate de potasse fait tomber la récolte à 1 gramme, soit le $\frac{1}{25}$ de la récolte en liquide normal. La suppression du zinc la fait tomber à $\frac{1}{10}$, la suppression de l'ammoniaque à $\frac{1}{150}$, celle des phosphates à $\frac{1}{200}$. Par addition d'antiseptiques, la végétation est arrêtée par $\frac{1}{240}$ de sulfate de cuivre, par $\frac{1}{500.000}$ de sublimé corrosif par $\frac{1}{1.600.000}$ de nitrate d'argent, et la végétation ne peut même commencer dans un vase d'argent, bien que, dans ces conditions, l'analyse chimique soit impuissante à déceler la moindre trace du métal dans le liquide.

En outre, l'aspergillus niger sécrète divers diastases, il attaque la cellulose, l'amidon par une sorte *d'amylase* ; il secrète aussi une *sucrase* qui inverti le sucre cristallisable ; il détruit les acides citrique, tartrique, malique, etc., et, dans toutes ces combustions, dégage de l'acide carbonique et produit de l'acide oxalique, puis brûle ensuite ce dernier. On voit donc le grand intérêt qui est attaché à l'étude de cette plante.

Un autre genre de champignons du même groupe, les *mucors*, présente une particularité intéressante pour le distillateur. Nous prendrons comme exemple le *mucor racemosus* que l'on obtient presque sûrement en exposant à l'étuve à 35° un peu de crottin de cheval, puisque l'on peut cultiver ensuite sur des tranches de pain imbibées d'eau acide. Ce mucor existe également à la surface de nombreux fruits mûrs, et en particulier à la surface des grains de raisin où ses spores accompagnent les spores de levures.

Ensemencé sur un moût de bière acide et stérilisé, ce champignon se développe comme sur les tranches de pain précédentes, et avec toutes ses fructifications tant qu'on lui fournit l'air stérilisé, ce qui est facile dans un matras Pasteur à deux tubulures. Dans ces conditions, il brûle complètement le sucre sans production d'alcool, et examiné au microscope, montre les formes *a*, *b*, *c*, *d*, *s*, de la figure 22. Mais, vient-on à supprimer le contact de l'air, et par agitation du matras à noyer le mycélium, les filaments prennent peu à peu les formes *m*, *n*, *p*, (fig. 22), ces dernières ressemblant absolument aux cellules de levure, à tel point qu'on les a longtemps confondues, et que Bail a cru à la transformation des mucors en levures et inversement; car, dans ces conditions, on constate une assez forte production d'alcool. Il n'en est pourtant rien de cette transformation, car les vraies levures ne donneront jamais lieu à la production d'un mycélium, même au contact de l'air. Que d'autre part on rende aux cellules de *mucor-levure*, le libre contact

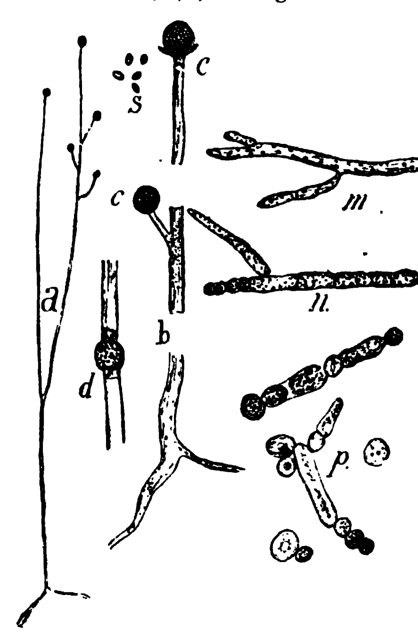


Fig. 22. — *Mucor racemosus*.
a, Filament fertile (Gross. 25). — *b*, Filament fertile du mycelium aux sporanges C (Gross. 300). — *s*, Spores (Gross. 300). — *m n p*, Aspect du mycélium vivant submergé, depuis le filament non cloisonné jusqu'à la séparation des cellules.

de l'air, on voit immédiatement le mycélium se reformer, les fructifications reparaître, et la plante, non-seulement consomme entièrement le sucre restant dans le liquide nutritif, sans production intermédiaire d'alcool; mais encore brûle l'alcool qu'on lui avait fait produire pendant son existence anaérobie. Néanmoins, pendant cette vie anormale, les cellules produites par le cloisonnement des filaments de mucor se sont comportées comme de véritables levures ; il est vrai qu'elles ne poussent point très loin ce rôle, car un faible excès d'alcool arrête leur végétation.

D'autres mucors, et en particulier le *mucor alternans* jouissent de la propriété d'attaquer et de faire fermenter la dextrine et l'amidon, ainsi que l'ont montré MM. Gayon et Dubourg [1], mais cette dernière propriété des moisissures est surtout remarquable dans les ferments japonais et chinois.

Le *koji* [2], ou ferment japonais a été étudié par divers expérimentateurs, et doit sa propriété de faire fermenter le riz à une moisissure l'*eurotium orizœ*, associée à des levures. Le kôji sert au Japon à fabriquer une bière de riz appelée *saké* dont la fermentation dure de 28 à 30 jours.

Cette longue durée de fermentation ne se prête pas à la distillerie, mais on a longtemps confondu avec ce produit le *tsien-ia* ou ferment chinois qui opère beaucoup plus rapidement la fermentation du riz, et est utilisé dans toutes les distilleries de Chine et d'Indo-Chine.

La *levure chinoise*, qui a été étudiée par le docteur Calmette [3] est un composé complexe de 46 plantes aromatiques dont le seul effet est de donner un goût particulier à l'alcool, mais qui ne semblent apporter aucun ferment utile par elles-mêmes. Broyées suivant des formules assez complexes, puis façonnées en tablettes, elles sont mises à sécher sur une mince couche de balle de riz humectée d'eau, et ce serait cette balle restant adhérente aux tablettes, qui, d'après M. Calmette,

---

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, année 1887.
(2) *Microbiologie de M. Duclaux*.
(3) *Annales de l'Institut Pasteur*, année 1892.

serait le véritable véhicule de l'ensemencement des ferments ; car il a obtenu les mêmes effets en ensemençant ses bouillons de culture avec du riz non décortiqué ou avec la balle seule. Voici comment opèrent les distillateurs chinois :

Le riz décortiqué est cuit avec un peu plus de son poids d'eau chaude jusqu'à ce que le grain s'écrase facilement sous les doigts. On l'étale sur des nattes pour le faire refroidir et on le saupoudre de levure pilée au mortier (1 k. 500 par 100 kilogrammes de riz décortiqué sec), puis on le répartit dans des pots de terre d'environ 20 litres chacun en ne les remplissant qu'à moitié et on ferme avec un couvercle. Au bout de trois jours, la saccharification est considérée comme achevée, on remplit les pots avec de l'eau du fleuve et on laisse s'établir la fermentation qui en général dure deux jours au bout desquels on distille la masse. Le rendement moyen obtenu est ainsi de 18 litres d'alcool pur par 100 kilogrammes de riz décortiqué [1].

Cette fermentation directe du riz est due encore à un phénomène de symbiose analogue à celui que nous avons signalé pour le *bacille amylozyme*, mais ici les agents de la transformation sont : une nouvelle moisissure, nommée par M. Calmette, *amylomyces Rouxii*, et des ferments naturels du pays analogues aux levures du genre saccharomyces, ces derniers provenant ou des grains de riz ou de l'eau des fleuves et probablement des deux origines.

La fig. 23 montre l'aspect de cette moisissure et de ses filaments aériens qui forment leurs spores dans des conidies, mais avec cette particularité que les filaments ne se terminent jamais par une tête sporifère. Dans les cultures profondes à l'abri de l'air, le mycélium s'accroît par bourgeonnement directe sans conidies,

(1) Si barbares que paraissent le procédé et le rendement, c'est avec eux que *les chinois concessionnaires du monopole des eaux-de-vie de riz dans notre colonie de Cochinchine* ont trouvé moyen de payer au Trésor une redevance annuelle de 2.400.000 francs *en réalisant un bénéfice net de plus de cinq millions*. Donc, en dehors de la question théorique dont nous nous occupons plus haut, nous devions signaler pour ces chiffres et beaucoup d'autres détails, le mémoire de M. Calmette à l'attention de nos lecteurs.



et ne se cloisonne pas en cellules comme les mucors, il reste en mycelium rameux. Ses caractères diffèrent donc de ceux des espèces connues.

Elle vit dans de nombreux milieux, mais ceux qu'elle semble préférer sont le moût de bière et les matières amylacées cuites à la vapeur. Sur le riz cuit, et en culture pure, elle étale son mycélium aérien, et transforme en partie en sucre la couche d'amidon sous-jacente, mais le sucre formé est aussitôt consommé. Cultivée en profondeur au contraire, elle hydrate énergiquement l'amidon et produit de la dextrine et un sucre fermentescible qui semble être soit du maltose soit un mélange de maltose et de glucose. L'*amylomyces* transforme aussi le sucre cristallisable et la dextrine en sucres fermentescibles, les diastases qu'il sécrète, sont donc analogues à l'*amylase* et à la *sucrase*, et comme celles de l'*Aspergillus niger* elles sont retenues par le filtre Chamberland. L'activité de ces diastases est détruite à + 75° et elles agissent plus rapidement en milieu acide qu'en milieu neutre. La température la plus favorable à son accroissement est de 35°.

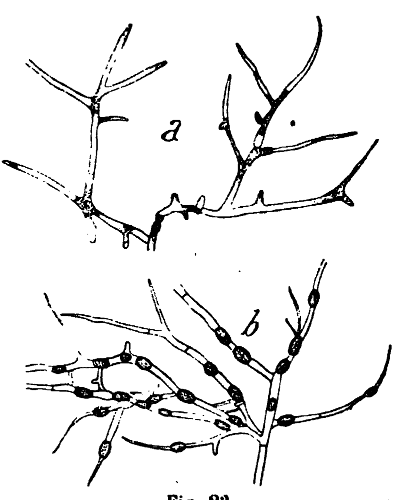


Fig. 23.
Amylomyces Rouxii de la levure chinoise
(d'après le Dr Calmette).
a, En culture jeune. *b*, Formation des conidies.

Associée avec les levures, cette moisissure transforme directement l'amidon en alcool, et nous donne un exemple de l'utilisation pratique et industrielle des phénomènes de symbiose. Nous tenions pour ce fait à signaler la levure chinoise et surtout l'*amylomyces Rouxii*

à l'attention des distillateurs, car il est probable, et le fait semble aujourd'hui démontré, que ce ne soit pas là le seul phénomène de symbiose et la seule moisissure qui puissent être appelée à rendre des services à la distillerie, au moins dans les pays où la matière première est à bon marché, les acides minéraux hors de prix, et la germination fort difficile, comme dans les pays tropicaux.

Nous arrêtons ici cette revue des ferments en général, revue dans laquelle nous nous sommes bornés aux ferments les plus utiles, ou à ceux qui, par leur étude assez complète, nous ont donné des aperçus nouveaux. N'oublions pas que la microbiologie, créée depuis trente ans à peine, est une science nouvelle, et que si elle a permis depuis ce temps à notre industrie de sortir de l'empirisme et des vieilles routines des fermentations, cette science n'a pas dit son dernier mot, et nous ouvre au contraire de vastes champs d'étude, comme elle en a ouvert à la médecine, à la pathologie, à l'hygiène. La place nous manque pour nous étendre sur quelques ferments que l'on rencontre parfois en distillerie, tels que les ferments putrides et ammoniacaux, mais on les combat si facilement par les soins de propreté, de stérilisation, qu'on ne les rencontre plus guère dans aucune usine digne de ce nom, aussi passons-nous de suite à l'étude des antiseptiques qui sont parmi les meilleurs moyens de les combattre.

(117) *Les antiseptiques.*

On appelle antiseptiques, les substances capables d'arrêter ou de retarder le développement des microbes ou des moisissures, voire même de les tuer. Mais une semblable définition est incomplète, car à ce compte, nous avons vu que la plupart des produits des diverses fermentations devenaient antiseptiques pour les ferments qui leur ont donné naissance, il faut donc faire intervenir la question de dosage, sinon toutes les substances solubles en assez grande quantité deviendraient des antiseptiques. Il faut ensuite admettre que, la dose d'une même substance qui est antiseptique pour un microbe, ne l'est pas pour un autre. C'est ainsi que

l'*amylomyces Rouxii*, que nous venons d'étudier, résiste dans du moût de bière à 0,05 pour cent de nitrate d'argent, alors que l'*aspergillus niger*, ainsi que nous l'avons vu, voit sa fermentation arrêtée par 0,000 000 63 pour cent de la même substance. Ce n'est que sous ces réserves que nous donnons la liste suivante, empruntée à celle de M. Miquel, et dont nous avons retranché les substances d'un prix trop élevé ou trop rares pour être utilisées efficacement en distillerie ou dans les laboratoires industriels.

	Dose en grammes par litre
Eau oxygénée	0gr05
Bichlorure de mercure	0,07
Azotate d'argent.	0,08
Iode.	0,25
Sulfate de cuivre	0,90
Cyanure de potassium	1,20
Gaz ammoniac	1,40
Chlorure d'ammonium	1,40
Chloroforme	1,50
Chorure de zinc.	1,90
Acide phénique	3,20
Permanganate de potasse	3,50
Alun	4,50
Tannin	4,80
Acide arsénieux	6,00
Acide borique	7,50
Salicylate de soude	10,00
Sulfate ferreux	11,00
Soude caustique.	18,00
Chlorure de calcium.	40,00
Borax.	70,00
Alcool	95,00
Sel marin.	165,00
Glycérine.	225,00
Sulfate d'ammoniaque	250,00

Ce ne sont pas là d'ailleurs les seuls antiseptiques. Nous avons déjà constaté l'action antiseptique des acides gras organiques, dès que leur dose dépasse de un à trois grammes par litre d'acidité sulfurique. Il en serait de même des acides minéraux. Le mèchage des fûts est une application des propriétés antiseptiques de l'acide sulfureux, etc. Les chiffres ci-dessus établis pour l'an-

tisepsie chirurgicale ne doivent être pris que comme une moyenne, et ne s'appliquent pas indistinctement à toutes les variétés de microbes. C'est là au contraire une des propriétés des antiseptiques qui offre le plus de ressources au praticien. L'acide sulfurique par exemple qui est fort employé en distillerie à la dose de 1 gr. 5 à 2 grammes par litre, favorise la fermentation et facilite l'action des diastases, alors qu'il empêche les fermentations secondaires et entre autres la fermentation butyrique qui ne se développe bien que dans un milieu neutre ou légèrement alcalin.

L'acide fluorhydrique, ou mieux le fluorure de potassium à la dose de 40 à 50 milligrammes par litre dans les moûts acidifiés par l'acide sulfurique (Procédé J. Effront), a donné d'excellents résultats tant par sa propriété d'agir comme antiseptique à l'égard des ferments secondaires que par son action favorable sur les diastases. On peut même dire que l'acide fluorhydrique est le meilleur antiseptique en distillerie, mais malgré les brillants résultats qu'il a donnés il ne peut être le remède universel. La nature de l'antiseptique doit varier avec l'ennemi, le bacille à combattre. En outre, les bacilles, comme tous les autres êtres vivants, s'accoutument peu à peu à un antiseptique, comme l'homme arrive à s'accoutumer à l'arsenic ; et au bout d'un certain temps, un antiseptique n'agit plus, par exemple sur le ferment butyrique, ou il faut en augmenter la dose à tel point que l'action antiseptique se fait sentir sur la levure elle-même. Le meilleur remède alors est de changer pendant quelques jours la nature de l'antiseptique employé, quitte à revenir ensuite à celui qui donne les meilleurs résultats. Les bisulfites ont également une action antiseptique précieuse, surtout pour combattre l'effet des moisissures, mais on doit les employer avec circonspection dans les moûts où ils peuvent donner lieu à une production d'acide sulfureux que l'on retrouverait dans l'alcool. Pour la même raison, on est obligé d'écarter l'emploi des antiseptiques volatils, tels que l'acide phénique ou ses homologues de la série aromatique.

Les essences de moutarde et d'ail jouissent d'une propriété antiseptique particulière qui les rend pré-

cieuses pour quelques recherches de laboratoire. L'essence de moutarde surtout, ajoutée dans une culture à la dose d'environ une goutte par 100 cc. arrête complètement l'action des levures et organismes vivants, mais sans porter atteinte au pouvoir des diastases formées, ce qui permet de mettre en évidence les propriétés de ces dernières dans les nombreux cas où la stérilisation par la chaleur, ou par filtration sur bougie Chamberland, ne permet pas de les isoler des microbes qui les ont sécrétées. Cette dose de 1 goutte par 100 cc., n'a d'ailleurs rien d'absolu; comme dans les cas précédents ce n'est qu'une indication moyenne, car un excès de ces essences arrête aussi l'action des diastases. Suivant les cas aussi, c'est l'une ou l'autre qui devra être préférée.

Ce que nous venons de voir des antiseptiques nous montre donc que ce sont des agents précieux, mais délicats à employer; aussi, toutes les fois que cela est possible, il faut leur préférer la stérilisation dont on est beaucoup plus sûr, et surtout la stérilisation par la chaleur qui est déjà entrée dans la pratique et y a fait ses preuves.

CHAPITRE IV

Distillation et Rectification

---

(118) *Aperçu historique et défintions.*

Le premier appareil à distiller connu, ou *alambic simple*, a été apporté en Europe par les Arabes d'Espagne vers le XIe siècle. L'étymologie du mot, *al* (article arabe), et αμϐιξ (en grec : vase à bords relevés), semble indiquer qu'ils tenaient eux-mêmes cet appareil des savants Grecs de l'école d'Alexandrie.

Nous ne décrirons pas cet appareil bien connu et encore employé. Il n'a d'ailleurs reçu que des modifications insignifiantes jusqu'au commencement de ce siècle.

Lémery, dans son traité de chimie (XVII[e] siècle) signale pourtant l'interposition d'un serpentin ascendant entre la cucurbite et le chapiteau, appareil avec lequel on obtient : « *un esprit-de-vin despouillé de phlegme en la première fois* » ; mais cet appareil était peu connu et délaissé par les alchimistes comme trop compliqué.

Argand reprit cette idée et la perfectionna, il entoura le serpentin d'un vase cylindrique rempli de vin, et inventa ainsi le *chauffe-vin condenseur*.

Vers le même temps, Édouard Adam imagina le premier le principe de *l'épuisement méthodique du vin*, qui est la base de tous les appareils modernes.

Il disposa une série de vases en gradins, ressemblant un peu à une batterie de flacons de Woolf. La vapeur produite dans l'alambic proprement dit, c'est-à-dire dans le vase inférieur de la série, barbotait dans le vase voisin et ainsi de suite, en montant successivement jusqu'au dernier.

En sens inverse, le vin, introduit en premier lieu dans le vase supérieur, descendait de proche en proche, en s'épuisant graduellement, jusqu'à la chaudière inférieure.

Cet appareil était encore un appareil périodique : à intervalles déterminés, on vidait la chaudière inférieure, puis on faisait successivement descendre d'un degré le liquide de chaque vase dans le récipient immédiatement au-dessous de lui.

Il n'y avait plus qu'un pas à franchir pour arriver à la continuité de la distillation. Ce fut Blumenthal qui en réalisa l'application, et créa la colonne à distiller continue. Cet appareil fut perfectionné par Derosne, Champonnois, Savalle en France, et Pistorius en Allemagne.

La distillation continue est beaucoup plus économique comme combustible que l'ancien alambic. Elle fournit en même temps une eau-de-vie brute, ou *flegme*, d'un degré moyen plus élevé et d'une pureté plus grande.

Néanmoins ce produit, sauf les cas particuliers où l'on distille de bons vins ou des fruits, est loin d'être assez pur pour la consommation ; il est chargé de diverses catégories d'impuretés et d'odeurs qu'il faut éliminer. C'est le rôle de la *Rectification*.

Toute distillerie industrielle comprend donc deux sortes d'opérations successives ; la première, ou *distillation proprement dite,* sert à extraire l'alcool brut des liquides fermentés ; la seconde opération, *ou rectification* n'est autre chose que le raffinage de l'alcool brut, pour le rendre pur et de bon goût.

(119) *Colonnes distillatoires continues.*

On distingue deux grandes catégories de colonnes :

1° Les colonnes à bas degré, qui sont les plus usitées en France. Ces appareils donnent un flegme dont le degré alcoolique ne dépasse généralement pas 50 à 65°.

2° Les colonnes à haut degré, qui atteignent 90 et même 96 degrés.

Ces dernières empruntent les principes et les organes essentiels des rectificateurs pour opérer la concentration et quelquefois la purification de leurs produits. Ce sont en quelque sorte des *colonnes rectificatrices.* Aussi, serons-nous conduits à n'en donner la description et la théorie qu'après avoir fait l'étude de la rectification elle-même.

Parmi les colonnes à bas degré, nous ne rencontrerons pas beaucoup de types différents. Presque toutes ont pour point de départ le schéma que nous donnons ci-contre (fig. 24), et qui dérive de la façon expliquée plus haut de l'appareil à gradins d'Édouard Adam.

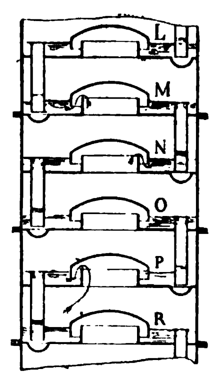


Fig. 24.
Schéma de la colonne à plateaux.

Ici les alambics méthodiques sont directement superposés, et leur assemblage constitue la colonne distillatoire. Cette disposition permet de multiplier le nombre des plateaux, c'est-à-dire d'augmenter la méthodicité et par conséquent l'économie de l'opération.

La quantité de liquide qui peut séjourner sur chaque plateau est limitée par un tuyau de trop-plein qui

déverse l'excédent sur l'étage inférieur. Les trop-pleins sont alternativement à droite et à gauche pour que le liquide soit forcé de parcourir le plateau avant de descendre au suivant.

L'organe de barbotage de la vapeur est la *calotte*, c'est-à-dire une sorte de capsule renversée. Sous la calotte, une virole, formant cheminée, donne passage à la vapeur produite sur le plateau inférieur. Emprisonnée sous la calotte, la vapeur ne peut s'échapper qu'en refoulant le liquide et en sortant en bulles par le pourtour.

Pour favoriser l'épuisement du liquide, il faut diviser le mieux qu'il est possible les bulles de vapeur ; plus les bulles seront petites et multipliées, plus il y aura de contact à chauffage égal, entre la vapeur et le liquide, et mieux se fera l'enlèvement des parties alcooliques volatiles. Dans ce but il est bon de denteler le pourtour des calottes, et de développer la longueur de la ligne de barbotage. Les calottes dentelées et en forme d'étoile des colonnes Champonnois sont un modèle à ces deux points de vue.

La colonne à plateaux est la partie essentielle de l'appareil à distiller ; mais il faut la compléter par d'autres organes qui sont les suivants :

1° *Le chauffage* à vapeur ou à feu nu.

Ce dernier mode est devenu assez rare en dehors des distilleries de vins et de fruits. Dans l'industrie de l'alcool on n'emploie guère que le chauffage à vapeur : il se fait, soit par barboteur, soit enfin par double-fond. Dans le premier cas, le bas de la colonne reste ordinairement du même diamètre que les plateaux. Dans les autres systèmes, il est nécessaire de mettre une petite chaudière.

2° *Régulateur.* — Le chauffage à vapeur est habituellement réglé par un régulateur de vapeur tout à fait automatique. Le type le plus usité est le régulateur Savalle, dont la sensibilité ne laisse rien à désirer. Il est figuré en F sur le dessin d'ensemble ci-contre (fig. 25) La pression qui existe au bas de la colonne à distiller vient s'exercer à la surface du liquide du bas du régulateur ; elle fait monter celui-ci dans le récipient supérieur où se trouve un flotteur puissant. Le flotteur se

soulève, et par l'intermédiaire d'un levier ferme partiellement une soupape équilibrée spéciale qui sert à l'admission de la vapeur de chauffage. L'équilibre s'établit de telle façon que la pression au bas de l'appareil

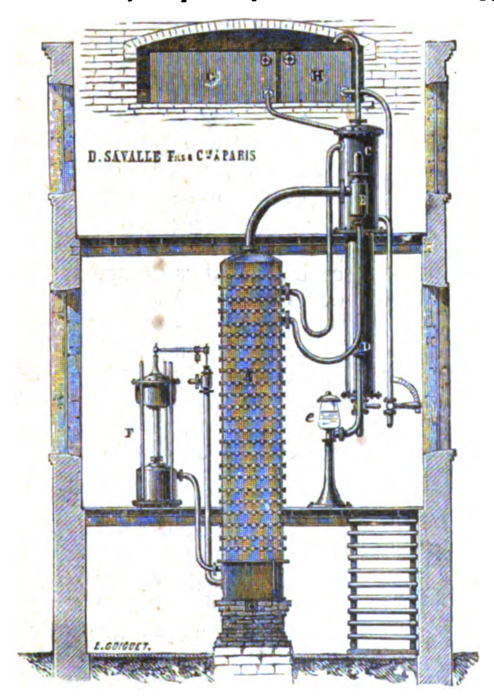


Fig. 25. — Colonne à distillation continue, système Savalle.

distillatoire ne varie pas de plus de 2 à 3 centimètres de colonne d'eau.

Pour augmenter ou diminuer l'allure d'une colonne à distiller, il faut faire varier la pression de régime au bas de l'appareil. Le régulateur est construit de telle façon qu'on peut assez facilement soulever ou abaisser le récipient supérieur qui contient le flotteur, mais néanmoins on ne peut le faire qu'en arrêtant l'appareil.

M. Barbet a amélioré le régulateur Savalle par l'ad-

dition de deux robinets *a* (figure 26) qui donnent la facilité de modifier l'allure d'un appareil à tout instant en pleine marche.

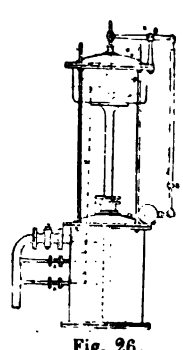


Fig. 26.
Régulateur à régime variable.

Lorsque les deux robinets *a* sont fermés l'appareil fonctionne avec une pression de régime H.

En ouvrant le premier robinet, la pression devient $H + h$.

En ouvrant le second robinet, elle devient $H + h + h'$. Le chauffage étant de plus en plus énergique, l'appareil donne un débit de plus en plus considérable.

3° *Chauffe-vin.* Les vapeurs alcooliques qui se dégagent du haut de la colonne A (fig. 25) passent à travers un brise-mousse E, qui arrête les entraînements de vin, puis arrivent à un appareil tubulaire ou à serpentin, C, qui sert à échauffer le vin avant son entrée dans la colonne.

Le chauffage préalable du liquide d'alimentation est non seulement une économie de combustible, mais encore une nécessité pour le bon réglage des appareils continus. Sans cette précaution, l'entrée du liquide froid provoque une abondante condensation des vapeurs ascendantes et apporte de grandes perturbations dans le coulage du flegme.

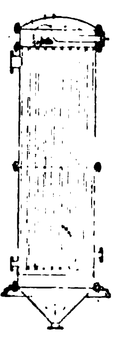


Fig. 27.
Chauffe-vin L. Fontaine

Le chauffe-vin doit être construit de façon à assurer une circulation rationnelle et uniforme des liquides, à éviter les dépôts de matières, et à permettre un nettoyage prompt et facile. Ces qualités indispensables, surtout dans le cas des moûts un peu épais, se trouvent réunies dans le type ci-contre de chauffe-vin construit par la maison L. Fontaine (fig. 27).

4° *Réfrigérant.* — Le flegme condensé dans le chauffe-vin et les vapeurs non condensées encore se rendent dans le réfrigérant D (figure 25). C'est un appareil tubulaire, ou bien à serpentin, où les flegmes sont refroidis par l'eau.

5° *Éprouvette.* — Enfin, le flegme froid sort par l'éprouvette E. L'éprouvette Savalle (fig. 28), permet de constater à tout instant le degré du flegme qui coule, sa température et son débit.

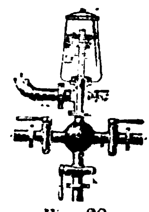


Fig. 28.
Eprouvette Savalle.

Plus le niveau du liquide est élevé dans l'éprouvette, et plus il coule de flegme par l'orifice percé à la base du tube central. Des divisions régulières sont gravées sur ce tube, et permettent d'apprécier à tout moment la valeur du coulage.

6° *Récupérateur de chaleur.* — On doit, toutes les fois qu'on le peut, utiliser la chaleur des vinasses épuisées qui sortent du bas de la colonne pour échauffer le vin qui va entrer à la partie supérieure. Nous montrerons tout à l'heure à propos de la théorie de la distillation, combien cette récupération de chaleur l'emporte sur le-chauffe-vin comme économie de vapeur.

Le récupérateur peut se constituer soit comme tubulaire, soit comme serpentin, selon la puissance de la colonne et la nature des vins distillés.

Tel est l'ensemble d'une colonne distillatoire continue à bas degré. Nous pouvons maintenant aborder l'étude théorique des mélanges d'eau et d'alcool, et de leur distillation continue ou discontinue.

(120) *Constantes physiques des mélanges d'eau et d'alcool.*

Quelques explications sont ici tout d'abord nécessaires pour faciliter les calculs que nous aurons à faire.

Nous allons avoir à chaque instant à parler de températures d'ébullition, de degrés de l'alcool en volume, et de proportions d'alcool en poids ; on sait en effet que les chaleurs spécifiques et les chaleurs latentes de vaporisation doivent être rapportées à l'unité de poids et non à l'unité de volume. Pour éviter les périphrases tout en restant facilement intelligibles, et pour ne pas embrouiller le lecteur dans les *degrés* de toutes natures, nous adopterons des indices :

Pour les degrés de *température*, nous mettrons l'indice *t*.

Pour les degrés Gay-Lussac, c'est-à-dire la proportion centésimale d'alcool en *volume*, l'indice *v*.

Pour la proportion d'alcool en *poids*, l'indice *p*.

On se rappellera facilement la signification de ces indices pour lesquels nous avons adopté les initiales des trois mots : température, volume et poids.

Les mélanges d'alcool éthylique et d'eau présentent de grandes bizarreries dans leurs chaleurs spécifiques, voici les chiffres donnés par Regnault pour 1 kilogramme à 0ᵗ .

Proportion d'alcool °/₀ en volume	Chaleur spécifique à 0ᵗ
10	1,052
20	1,043
30	1,012
40	0,946
50	0,878
100	0,547

D'autre part, cette chaleur spécifique C augmente rapidement avec la température. Pour l'alcool éthylique pur Regnault donne :

A zéroᵗ	C = 0,547
20ᵗ	C = 0,595
60ᵗ	C = 0,706
80ᵗ	C = 0,769.

Regnault donne encore pour l'alcool pur ce résultat très singulier que la chaleur totale de vaporisation serait presque constante dans un grand intervalle de température.

Température de vaporisation	Chaleur latente	Chaleur totale
0	236	236,5
10	238	244,4
20	240,6	252,0
30	240,5	258,0
40	238,3	262,0
50	233,8	264.0
60	227,6	265,0
70	220,6	265,2
80	213,1	265,2
90	206,0	266,0
100	199,1	267,3
110	192,9	269,6

Ces renseignements du célèbre physicien français sont encore bien insuffisants, et ils ne concordent pas avec les travaux plus récents des physiciens allemands ou américains, aussi les complèterons-nous par le tableau suivant que nous empruntons à l'ouvrage de Maercker (1).

Disons du reste que ces chiffres de Maercker proviennent des physiciens français Jamin et Amaury (C. R. t. LXX), et pour les chaleurs de mélange d'un travail de Dupré et Page.

Proportion d'alcool contenue dans le liquide % en volume	Chaleur spécifique moyenne entre zéro et 2 t°	Chaleur de combinaison par kil. de mélange	Chaleur latente de vaporisation	Point d'ébullition à la pression atmosphér. de 760 millimètr.
0°,0	1,000 + 0,00110 t	0,0	536	100,0
5 ,0	1,040 + 0,00185 t	2,8	523	95,9
10 ,0	1,060 + 0,00200 t	4,5	509	92,6
15 ,0	1,065 + 0,00205 t	6,3	495	90,2
20 ,0	1,065 + 0,00205 t	7,7	481	88,3
25 ,0	1.060 + 0.00210 t	8,9	467	86,9
30 ,0	1,055 + 0,00220 t	9,4	452	85,7
35 ,0	1,045 + 0,00235 t	9,6	438	84,8
40 ,0	1,035 + 0,00250 t	9,5	424	84.1
45 ,0	1,015 + 0,00260 t	9,1	409	83,4
50 ,0	0,990 + 0,00270 t	8,4	394	82,8
55 ,0	0,960 + 0,00275 t	7,6	379	82,3
60 ,0	0,930 + 0,00285 t	6,8	363	81,7
65 ,0	0,900 + 0,00290 t	5,9	346	81,2
70 .0	0,865 + 0,00295 t	5,0	330	80,8
75 ,0	0,830 + 0,00300 t	4.1	312	80,4
80 ,0	0,795 + 0,00305 t	3,2	294	79.9
85 ,0	0,750 + 0,00310 t	2,6	276	79,5
90 ,0	0,705 + 0,00310 t	1,9	256	79,1
95 ,0	0,650 + 0,00320 t	1,3	234	78,8
100 ,0	0,580 + 0,00340 t	0,0	209	78,4

Ces chiffres de Maercker sont sensiblement plus élevés que ceux de Regnault, ce sont ceux que nous adopterons pour les calculs que nous aurons à faire. Les dépenses de chaleur ainsi trouvées pourront donc être considérées comme des maxima.

(1) Maercker, traduction Bosker et Warnery, t. II, p. 332.

Nous ne garderons de Regnault que les chaleurs relatives à l'eau :

Chaleur spécifique :

$$C = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}0000009\,t^2$$

soit :

à 0^t C = 1 ; à 50^t C = 1,0042 ; à 100^t C = 1,0132

(121) *Distillation simple de deux liquides non miscibles.*

Lorsque deux liquides sont *insolubles* l'un dans l'autre, ou *non miscibles*, tels la benzine et l'eau, les lois de la distillation de ces corps par entraînement de la vapeur de l'un ou de l'autre sont très simples et suivent la loi de Dalton : *chacun des corps se volatilise comme s'il était seul, la tension du mélange est égale à la somme des tensions des composants.* Cette loi peut se formuler ainsi :

$$\frac{P}{p} = \frac{\frac{Q}{M}}{\frac{q}{m}} = \frac{Qm}{Mq}$$

Dans cette formule ;

P et p sont les tensions de vapeur des deux corps qui distillent M, et m leurs poids moléculaires.

Q et q les quantités de chacun des corps qui passent à la distillation.

On ne doit pas non plus perdre de vue que la vapeur d'un corps peut dans ces conditions entraîner des substances à point d'ébullition beaucoup plus élevé et suivant cette même loi. Malheureusement presque tous les corps dont nous avons à nous occuper en distillerie sont miscibles l'un dans l'autre ou au moins dans les mélanges complexes, et nous n'aurons presque pas à nous servir de la loi si simple qui vient d'être rappelée.

(122) *Distillation de deux liquides miscibles.*

Les lois qui régissent la distillation de deux liquides miscibles sont beaucoup plus complexes car, aux rapports de tensions de vapeur, rapports qui considérés

seuls n'auraient aucune raison de faire varier la loi précédente, viennent s'ajouter les attractions réciproques des molécules des deux liquides du mélange. Or, les lois de ces attractions moléculaires nous sont encore trop peu connues ; nous n'en voulons pour preuve que les faits bien constatés, mais insuffisamment expliqués, de la contraction des mélanges d'eau et d'alcool et la table des mélanges d'acide acétique et d'eau. En outre l'attraction moléculaire d'un même mélange, varie suivant que le mélange est à l'état liquide ou à l'état de vapeurs.

Nous n'avons guère d'indications précises à cet égard que les observations de M. Duclaux [1], faites sur des mélanges d'eau et d'alcools ou d'eau et d'acides organiques.

Ainsi que l'a indiqué l'auteur, les lois déduites de ses expériences ne sont applicables que dans des limites peu étendues pour chaque mélange, et ces lois se trouvent contrariées en outre par la formation de mélanges à point d'ébullition fixe, que l'on a parfois appelés improprement des hydrates. L'un de ces mélanges, le plus connu peut-être, est le mélange renfermant en volume 97,6 % d'alcool qui bout à une température plus basse que les mélanges d'alcool, et d'eau plus riches ou moins riches en alcool, de telle sorte qu'un tel mélange ne peut être décomposé par la rectification à la pression ordinaire.

Ces réserves exprimées, voici comment M. Duclaux résume les lois de distillation d'un mélange de deux liquides miscibles :

Si nous appelons a le volume d'un liquide mélangé avec un volume e d'eau ($a + e$ étant le volume total du mélange initial), da et de [2] les volumes du liquide et de l'eau dans les vapeurs ou le liquide distillé, m un coefficient variable pour chaque mélange, nous

(1) E. Duclaux. — Sur les forces élastiques des vapeurs émises par un mélange de deux liquides. — *Annales de Physique et de Chimie*, 5e série, t. XIV.

(2) Malgré l'apparence des notations, da et de ne représentent pas ici des différentielles, bien qu'en réalité, dans un alambic ordinaire les formules générales ne puissent être appliquées que pendant un temps infiniment petit, le mélange s'appauvrissant à chaque instant. C'est probablement ce qu'à voulu marquer l'auteur.

aurons pour établir les rapports de la richesse des vapeurs à la richesse du liquide générateur la formule :

$$\frac{da}{de} = m \frac{a}{a+e} \quad (1)$$

et si dans le mélange des vapeurs nous appelons A le volume de vapeur du liquide, E le volume de la vapeur d'eau, nous aurons :

$$\frac{A}{E} = p \frac{a}{a+e} \quad (2)$$

p étant un autre coefficient également variable pour chaque mélange.

De ces rapports $\frac{A}{E}$ on peut déduire les rapports des tensions des vapeurs dans le mélange.

Les formules ci-dessus ne sont applicables qu'à des mélanges d'*alcools*, ou plutôt *d'un alcool*, et d'eau. Pour les acides gras les formules ci-dessus deviennent :

$$3) \quad \frac{da}{de} = m \frac{a}{e}, \quad \text{et:} \quad \frac{A}{E} = p \frac{a}{e} \quad (4$$

Le tableau suivant résume d'après M. Duclaux les valeurs de m et de p pour les principaux liquides mélangés à l'eau dont nous aurons à nous occuper. On y trouvera les limites de richesses dans lesquelles les lois précédentes restent applicables pour chacun de ces corps.

Liquide mélangé à l'eau	Valeurs de m	Valeurs de p	Richesses limites °/o parties du liquide
Alcool méthylique . .	10,9	4,85	0 à 30°
— éthylique . .	15,4	4,71	0 à 25
— propylique .	20,9	4,87	0 à 10
— butylique .	41,5	8,04	0 a 4
— amylique. .	49,6	7,98	0 à 1,6
Acide formique. . .	0.42	0,14	5 à 40
— acétique . . .	0,545	0.13	50 à 80

On remarquera dans ce tableau que, pour l'alcool éthylique en particulier, ces lois ne sont applicables

que pour des liquides très pauvres, et ne sauraient intervenir dans la théorie de la rectification.

(123) *Distillation à l'alambic.*

Dans une distillation simple, le liquide qui est dans la chaudière s'appauvrit à chaque instant en alcool, de façon qu'à la fin, il n'y reste plus que de l'eau pure.

Appliquant la théorie ci-dessus, M. Duclaux a calculé, puis vérifié par l'expérience, que pour obtenir l'épuisement complet d'un liquide dans l'alambic simple, il faut distiller :

50	pour cent	d'un liquide à	5°
60	»	»	10
70	»	»	20
80	»	»	40
90	»	»	50

Remarque fort importante pour les analyses d'alcool, et dont on peut déduire les dépenses de calories ou de vapeur de la distillation simple.

Prenons pour exemple un hectolitre du premier mélange à 5^v, nous voyons que pour l'épuiser il faut évaporer 50 litres de liquide.

La chaleur spécifique d'un mélange à 5^v est d'après Maercker :

$$C = 1{,}040 + 0{,}00185\,t \quad \text{ou} \quad 1{,}1288 \text{ entre } 0^t \text{ et } 97^t.$$

La densité du mélange à 15^t est 0,993. Donc pour amener le liquide de 15° à la température d'ébullition nous dépenserons :

$$1{,}1288 \times 82^t \times 99^k{,}3 = 9.189{,}4 \text{ calories},$$

$82 = 97 - 15$ étant la différence de température à gagner. D'après Maercker, la chaleur latente de vaporisation du mélange à 5^v est de 523 calories, celle de l'eau 536 ; comme notre mélange va toujours s'affaiblissant, prenons 530 comme chaleur latente moyenne de vaporisation du commencement à la fin de l'expérience. Nous évaporons 50 litres et les vapeurs entraînent tout l'alcool ; la richesse ramenée à 15^t serait de 10^v soit une densité de 0,9876 et ces 50 litres de liquide pèseront :

$$0{,}9876 \times 50 = 49^k{,}38\,;$$

il faudra donc leur fournir :

$$49{,}38 \times 530 = 26.171{,}4 \text{ calories}$$

qui ajoutées aux 9.180,4 calories précédentes donnent une dépense totale de 35.360,8 calories.

Si cette vaporisation est faite par un chauffage à la vapeur à 5 k. dans un double fond ou un serpentin, chaque kilo de vapeur abandonnant au plus 555 calories, nous voyons que pour épuiser d'alcool à l'alambic simple 1 hectolitre de vin à 5°, il faut dépenser $\frac{35.360{,}8}{555} = 63$ kilogrammes 7 de vapeur.

Cet exemple suffit pour montrer combien cet appareil est dispendieux et insuffisant, car, si l'on rapporte cette dépense à l'hectolitre d'alcool à 100°, cette dépense ressort à $\frac{63.7 \times 100}{5} = 1274$ kilos, et cela simplement pour obtenir un liquide à 10°, tandis que nous verrons que par les colonnes actuelles on peut obtenir cet épuisement et un liquide à haut degré avec une dépense de vapeur inférieure à 200 kil. par hectolitre d'alcool à 100°.

Ceci posé, la base la plus sérieuse qui nous reste pour établir la théorie de la distillation est encore la table de Grœning que nous reproduisons ci-après, et qui, étant donné le degré alcoolique d'un liquide bouillant, donne le degré alcoolique des vapeurs émises par ce liquide et sa température d'ébullition. Les expériences qui ont servi à l'établissement de cette table, semblent avoir été faites dans une simple cornue tubulée de laboratoire dont les parois, soumises au refroidissement, produisaient la condensation d'une certaine quantité de vapeurs ce qui pouvait modifier les résultats.

Pour éviter cette cause d'erreur, M. Sorel [1] a repris ces expériences en se mettant à l'abri du rayonnement. Il a opéré dans une grande cornue de cuivre entièrement plongée dans un bain d'eau salée ou de glycérine et chauffée par ce bain. Nous consignons les

(1) Note de M. E. Sorel, présentée à l'Académie des Sciences, dans la séance du 27 mars 1893.



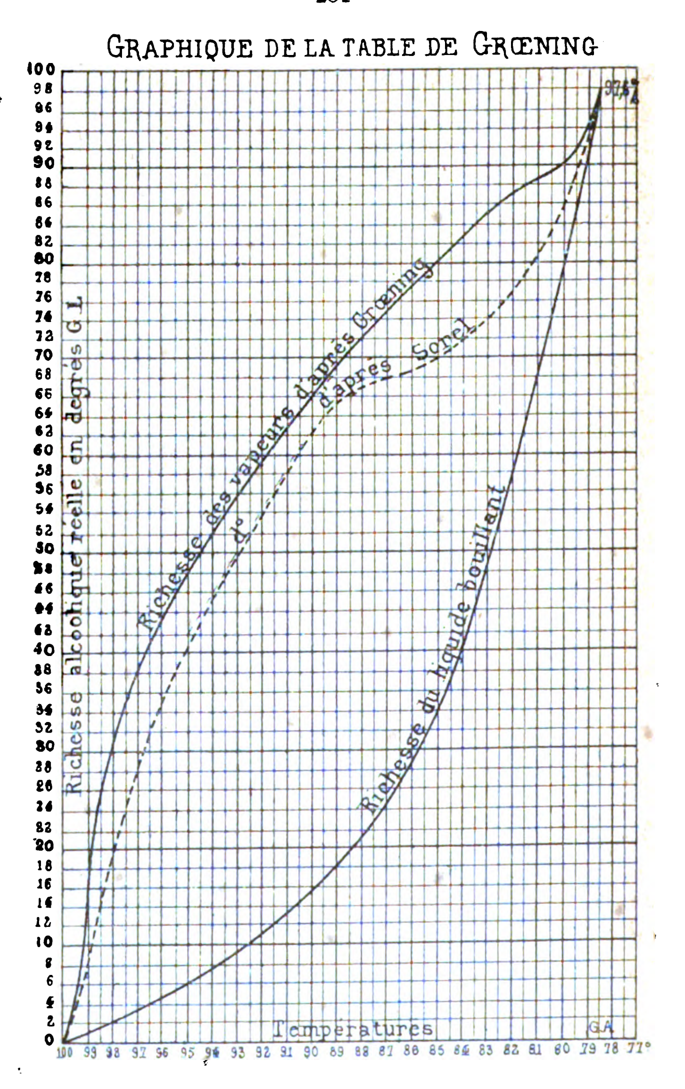
résultats qu'a bien voulu nous communiquer M. Sorel à côté de ceux de Grœning et dans la même table. Ci-contre nous plaçons les courbes obtenues en prenant pour abscisses les températures d'ébullition et pour ordonnées les richesses alcooliques.

(124) *Tables de Grœning et de Sorel.*

Degré Gay-Lussac du liquide	Température d'ébullition	Degré des vapeurs d'après Sorel	Degré des vapeurs d'après Grœning	Degré Gay-Lussac du liquide	Température d'ébullition	Degré des vapeurs d'après Sorel	Degré des vapeurs d'après Groening
0	100	0	0	46	83,30	73,75	84,1
1	99,00	9,90	13,0	48	83.06	74.35	84,6
2	98,17	17,70	28,6	50	82,82	74,95	85,1
3	97,40	25,20	35,0	52	82,58	75,58	85,5
4	96,65	31,25	39,9	54	82,35	76,22	86,0
5	95,90	35,75	43,4	56	82.14	76,86	86,4
6	95,17	39,30	46,7	58	81,92	77,50	86,9
7	94,47	42,60	49,8	60	81,70	78,17	87,3
8	93,80	45,50	52,3	62	81,52	78,86	87,6
9	93,20	48,40	54,5	64	81,34	79,56	88,0
10	92,60	51,00	57,2	66	81.16	80,28	88,3
11	92,10	53,45	59,0	68	80,98	81,05	88,6
12	91,60	55,75	60,8	70	80,80	81,85	89,0
13	91,12	57,45	62,4	72	80,65	82,75	89,3
14	90,64	59,80	64,0	74	80,45	83,65	89,6
15	90,20	61,50	65,4	76	80,27	84,55	90,0
16	89,80	62,96	66,8	78	80,09	85,48	90,3
18	89,00	64,95	69,2	80	79,92	86,49	90,6
20	88,30	66,20	71,3	82	79,74	87,50	91,0
22	87,73	67,00	73,0	84	79,57	88,53	91,3
24	87,18	67,70	74,4	86	79,41	89.59	91,6
26	86,65	68,20	75,8	88	79.25	90,67	92,1
28	86,16	68,75	77,0	90	79,12	91,80	92,6
30	85,59	69,26	78,1	92	78,98	93,25	»
32	85,32	69,77	79,2	93	78,90	93,80	»
34	84,96	70,30	80,1	94	78,83	94,50	»
36	84,64	70,87	80,7	95	78,75	95.35	95,4
38	84,36	71,43	81.6	96	78,68	96,20	»
40	84,08	71,95	82,3	97	78,61	97,10	»
42	83,81	72.50	83,0	97,6	78,55	97,60	97,6
44	83,56	73,12	83.6	98	78,56	98,00	»

(Voir page suivante le Graphique de cette table).

GRAPHIQUE DE LA TABLE DE GRŒNING



(123) *Distillation continue à bas degré.*

Nous avons dit (118) qu'Édouard Adam avait le premier mis en pratique le principe de l'épuisement méthodique des vins par barbotages successifs, principe appliqué depuis à tous les autres appareils distillatoires.

Voyons donc comment s'explique ce principe et quels sont les avantages de la méthodicité.

Supposons d'abord un alambic ordinaire à feu nu chargé de vin à 5 degrés. L'ébullition commencera à la température de 95°,9. Il en sera de même si le chauffage se fait par serpentin, et la vapeur qui se dégagera du vin aura environ 40° G. L.

Maintenant, perçons de trous le serpentin, de manière que la vapeur d'eau vienne chauffer le vin par barbotage. Si les bulles de vapeur sont très grosses et si la couche de liquide est faible, la vapeur sortira presque dans le même état qu'elle est entrée, faute d'un contact suffisant avec le vin.

Mais si l'on prend soin de multiplier les trous de barbotage, et de les faire très petits, de façon à diffuser les bulles dans toute la masse du liquide, comme ce liquide ne peut dépasser 95°,9 de température, il va agir comme condenseur vis-à-vis de la vapeur d'eau qui a 100°, encore plus facilement que lorsqu'une paroi de cuivre était interposée.

La condensation de la vapeur d'eau ainsi produite donne naissance à une grande somme de chaleur latente, qui à son tour vaporise une quantité équivalente du liquide vineux.

Or, celui-ci par ébullition donne une vapeur qui a environ 40° alcooliques. On verra donc se produire ce phénomène qu'en échange des bulles de vapeur d'eau introduites dans le vin, il sortira des bulles de vapeur alcoolique, et l'épuisement du liquide s'effectuera tout aussi bien que dans le chauffage par surface.

Au lieu de vapeur d'eau, nous pourrions faire barboter une vapeur un peu alcoolique. La seule condition essentielle à remplir, c'est que cette vapeur soit plus chaude que la température d'ébullition du vin à distiller, afin que celui-ci puisse faire office de condenseur,

et s'évaporer à son tour, calorie pour calorie. Pour remplir cette condition, il suffit que la vapeur de chauffage provienne d'un vin moins alcoolique que le vin à faire bouillir, puisque la température d'ébullition est d'autant plus élevée que la teneur en alcool est moindre, et puisque la vapeur engendrée a toujours la même température que le liquide dont elle provient.

Le vin moins riche pourra être constitué par le vin primitif une fois qu'il aura subi un commencement d'épuisement dans le vase supérieur. Si ultérieurement on fait encore descendre ce liquide du deuxième compartiment dans le troisième, il deviendra apte à faire bouillir la nouvelle dose de vin légèrement affaibli chargé à sa place dans le deuxième compartiment. Et ainsi de suite.

L'économie de chauffage qui en résulte est bien facile à chiffrer. Supposons que l'épuisement soit fait en trois vases, et que chaque vase dépense un poids P de vapeur pour la part d'épuisement qui lui incombe. Si, au lieu de l'épuisement méthodique, on employait de la vapeur vive dans chaque récipient, la dépense totale de vapeur serait égale à 3 P.

Mais avec la méthodicité, il n'y a que le vase inférieur qui reçoive un poids P de vapeur vive ; il en sort un poids P' de vapeur un peu alcoolique, possédant une chaleur totale équivalente à P en négligeant les pertes par rayonnement, et qui, par conséquent, possèdera dans le deuxième vase où on le dirige le même pouvoir évaporatoire que le poids P de vapeur vive à laquelle on le substitue.

La vapeur sortant du deuxième vase sera plus alcoolique que la première ; sa chaleur totale sera encore équivalente à celle de P, et elle se substituera à la vapeur vive pour chauffer le troisième vase.

En somme, on ne prendra au générateur qu'une seule fois un poids P de vapeur vive au lieu de 3 P ; on réalise un chauffage à multiple effet au même titre que dans les sucreries, mais avec cet avantage que l'on peut multiplier beaucoup plus le nombre des effets, vu qu'il n'y a plus l'obstacle des surfaces de transmission de chaleur.

Si nous examinons maintenant la qualité de la va-

peur alcoolique, on remarque que la richesse est beaucoup plus élevée qu'à l'alambic simple.

Reprenons l'exemple de notre vin à 5°.

Nous avons vu (**123**) que l'épuisement à simple effet produit 50 % de distillat, dont le degré moyen est par conséquent de 10°.

Faisons l'épuisement de ce même vin en trois vases méthodiques ; pendant le passage dans le vase supérieur, le degré alcoolique *moyen* du liquide est égal à 4° environ ; donc le distillat sortant de ce vase, le seul que l'on récolte, a en moyenne environ 31° d'après Sorel. Le distillat total a trois fois moins de volume, que dans l'alambic simple, mais il est trois fois plus riche. Tout se passe comme si les vases inférieurs n'existaient pas, et que l'épuisement d'un vin à 5° ne nécessitât que le tiers de ce qu'il exige en réalité comme dépense de vapeur.

Nous venons, pour la commodité, d'établir notre raisonnement sur l'appareil Adam dans lequel les déplacements de liquides sont périodiques. La théorie reste la même pour les types plus modernes de colonnes à distiller continues, à plateaux nombreux, agencés de telle sorte que le liquide descend automatiquement et sans interruption d'un plateau au plateau inférieur. Il s'établit une sorte de régime moyen, grâce auquel le liquide de chaque plateau a une richesse comprise entre celles du plateau supérieur et du plateau inférieur, et ce degré doit rester constant si la quantité de vin introduite au haut de l'appareil, sous forme d'alimentation continue, correspond exactement à la puissance d'épuisement de la colonne.

Comme on a pu le remarquer dans la figure 24, la construction des plateaux est étudiée de telle sorte que le liquide qui vient de descendre de l'étage immédiatement supérieur ne peut rejoindre le trop-plein, pour descendre à l'étage inférieur, qu'après avoir subi l'action analysante des organes de barbotage.

Les divers constructeurs emploient des nombres de plateaux qui varient dans de grandes limites. Egrot n'en met que 5 à 6, mais d'un type spécial que nous décrirons tout à l'heure ; les Allemands en emploient 12 à 15 en moyenne ; les colonnes françaises genre Savalle vont jusqu'à 20 et même 28 plateaux.

Si l'on prend au pied de la lettre la démonstration que nous venons de faire un peu plus haut sur la multiplicité mathématique des effets, on va croire qu'une colonne à 28 plateaux ne dépensera que la 28ᵉ partie de ce que dépenserait l'alambic simple.

En pratique l'économie est loin d'atteindre cette perfection et cela tient aux considérations suivantes :

D'abord, il ne faut pas oublier que, quelle que soit la puisssance soit du chauffe-vin, soit du récupérateur de chaleur qui échauffe le vin, ce liquide entre toujours dans la colonne à une température inférieure à son point d'ébullition. Il faut que la colonne fournisse un afflux de vapeur suffisant pour parfaire presqu'instantanément le nombre de calories qui manque au vin.

En second lieu, les organes de barbotage ne donnent pas une division suffisante de la vapeur pour que l'analyse ou l'échange se fasse intégralement comme nous l'avons supposé.

Quelqu'intelligemment combinées que soient les calottes, et quelle que soit leur savante répartition sur le plateau, la moindre dénivellation de celui-ci, et surtout l'encrassement au bout d'un certain temps de fonctionnement, diminuent l'efficacité d'une façon importante.

Enfin, nous signalerons encore une dernière considération : dans tout appareil fonctionnant d'une façon continue, il faut un certain *volant* pour que la distillation ne soit pas troublée par le moindre incident (abaissement de la pression aux générateurs, négligence momentanée de l'ouvrier, etc.). L'appareil doit donner une sécurité complète au point de vue de l'épuisement, malgré les incidents inévitables; on n'obtient cette constance de l'épuisement qu'à la condition d'avoir au bas de l'appareil une réserve de plusieurs plateaux où le liquide est totalement dépouillé d'alcool.

Tout cela majore dans de sensibles proportions la dépense théorique, et a conduit les constructeurs à exagérer le nombre des plateaux au-delà de ce qui semble nécessaire ; nous ferons d'ailleurs les calculs un peu plus loin, et nous verrons (**126**) que la limite de la dépense est égale à la quantité de calories emportées

par le flegme en vapeurs. On aura beau augmenter le nombre des plateaux, on ne diminuera pas la dépense de vapeur, à moins que l'on ne réussisse à diminuer la chaleur emportée par le flegme. Il n'y a qu'un moyen pour cela, c'est d'augmenter le degré alcoolique du flegme.

Nous venons de dire que la colonne Egrot réalisait l'épuisement méthodique du vin en 5 à 6 plateaux seulement.

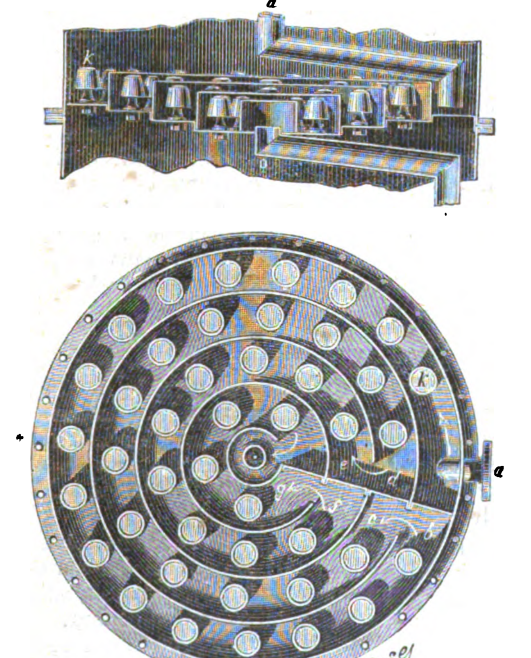


Fig. 29. — Plateau d'Egrot.

Pour obtenir ce résultat, ce constructeur a adopté une ingénieuse disposition que nous reproduisons (fig. 29).

Le vin qui entre sur le plateau en *a*, est obligé de

faire une très longue circulation avant d'arriver au centre où il trouve le trop plein *o* qui le conduit au plateau inférieur, et pendant ce cheminement il subit les barbotages successifs d'un grand nombre de petites calottes. Si cette disposition complique un peu les plateaux, elle en diminue le nombre, et par suite la hauteur de la colonne ce qui est fort avantageux dans bien des cas. L'épuisement du vin a une méthodicité très complète, mais l'enrichissement des vapeurs de plateau en plateau n'est pas aussi méthodique.

Il est évident qu'en augmentant suffisamment le nombre des spires du plateau Egrot, on arriverait à l'épuisement du liquide sur un plateau unique ; mais alors, comme les vapeurs de barbotage à toutes les calottes seraient de la vapeur d'eau, que pour maintenir l'épuisement il faudrait avoir un liquide épuisé dans la dernière spirale centrale *g*, au moins avant les dernières calottes, on voit que les vapeurs dégagées sur ce plateau unique seraient très pauvres à cause de la grande quantité de vapeur d'eau venant de la spire centrale et des vapeurs pauvres venant de la spire précédente.

Sans atteindre cette simplification excessive du plateau unique d'épuisement, il y a marge pour de nombreuses solutions intermédiaires entre les nombres de 5 et 28 plateaux, qui nous semblent les extrêmes de la condition pratique ; et pour fixer son choix, le constructeur fera intervenir les autres données de chaque cas particulier, telles que la fluidité du vin à distiller, la qualité du produit à obtenir, etc.

Nous prendrons pour type de la colonne à bas degré la colonne Savalle (fig. 25) ; mais, bien que sur ce dessin l'alimentation soit figurée au 2e plateau, nous supposerons qu'elle se fasse au plateau supérieur.

Dans cet appareil, les vapeurs produites dans le soubassement, par serpentin ou par barbotage, montent dans la colonne, s'enrichissant en même temps que leur température diminue, ainsi que nous venons de le voir pour une colonne quelconque.

Lorsque les vapeurs alcooliques des plateaux inférieurs arrivent au plateau d'alimentation, elles rencontrent le vin qui entre à une température inférieure

à son point d'ébullition comme nous venons de le dire un peu plus haut. Pour compléter l'échauffement du vin, il y a forcément condensation partielle de ces vapeurs, et par suite enrichissement alcoolique du vin sur ce plateau, enrichissement qui se communique aux plateaux immédiatement inférieurs; en sorte que les vapeurs qui passent au chauffe-vin et coulent à l'éprouvette, ont un degré supérieur à ceux qu'indique la table de Sorel, souvent même celle de Grœning, et cette différence entre l'éprouvette et la table est d'autant plus grande que l'on a affaire à un vin moins bien chauffé avant son introduction dans la colonne, car il nécessite une condensation proportionnelle plus forte des vapeurs.

Ainsi pour un vin d'alimentation à 8°, on obtiendra un flegme à 55° environ, au lieu de 45°,5 qu'indique la table de Sorel; et pour du vin à 4° le degré du flegme atteindra très bien 45° et même 50° au lieu de 39°,9 qu'indique Grœning.

Cette dernière remarque ne s'applique qu'à des colonnes en bonne marche et bien réglées, car il est évident que si l'on veut forcer en vapeur ou diminuer hors de proportion l'alimentation, on aura un degré aussi bas qu'on voudra.

Remarquons en passant que dans une colonne dont le régulateur de vapeur est bien réglé, l'abaissement du degré à l'éprouvette est pour le distillateur un indice de forcer l'alimentation, et inversement. L'abaissement exagéré du degré est une perte de vapeur, perte que l'on pourrait chiffrer en suivant les procédés de calculs que l'on trouvera plus loin; un degré trop élevé indique une tendance à ne pas épuiser, l'alcool tend à gagner le soubassement et à sortir avec les vinasses.

(126) *Dépense théorique de chaleur d'une colonne produisant des flegmes à bas degré.*

Nous allons établir plusieurs exemples de calculs se rapportant aux divers types de colonnes que l'on peut rencontrer; dans tous ces cas nous adopterons uniformément la richesse de 8°,5 pour le vin; chacun de nos lecteurs pourra répéter facilement les calculs pour

le degré qu'il voudra. Pour simplifier, nous ne tiendrons pas compte des pertes de chaleur par rayonnement. Enfin, dans ces calculs théoriques, nous admettrons que nous avons affaire à des chauffe-vin ou récupérateurs parfaits, c'est-à-dire possédant une surface suffisante pour la transmission méthodique de la chaleur des vapeurs alcooliques ou des vinasses au vin, condition qu'il est possible d'atteindre en pratique d'après les règles de la physique industrielle.

1[er] Cas. — *Colonne à récupérateur, chauffée par serpentin.* — Le vin ayant $8^v,5$, la vapeur qui se dégagera du plateau d'alimentation aura d'après Grœning $53^v,4 = 45^p,4$ à la température de $93^t,6$ produite par le vin à $8^v,50 = 6^p,8$. Donc le poids de flegmes à $45^p,4$ produit par un hectolitre de vin est de :

$$6,8 \times \frac{100}{45,4} = 15 \text{ kilogrammes},$$

Si nous regardions le vin comme un simple mélange d'eau et d'alcool à $8^v,5$, le poids de l'hectolitre de ce vin serait de :

$$0,9885 \times 0,999 \times 100 = 98^k,75,$$

0,999 étant la densité de l'eau à 15°, mais notre vin est un moût, nous prendrons son poids réel 102 kilogrammes pour poids de l'hectolitre.

Puisqu'il distille 15 kilogrammes de flegmes, le poids des vinasses par hectolitre sera de 102 — 15 = 87 kilogrammes.

La température du vin à distiller est supposée à 25^t; la vinasse épuisée sort de la colonne à 102^t.

Le récupérateur étant supposé parfait, nous admettrons que l'échange de chaleur est complet, et que la vinasse sort à 25^t, c'est-à-dire exactement à la température d'entrée du vin. Calculons la quantité de calories que la vinasse aura ainsi fournies au vin.

D'après Regnault, la chaleur spécifique de la vinasse

à 100° est de	1,0132
à 25° elle est de.	1,0020
	2,0152

La chaleur spécifique moyenne $= \frac{2,0152}{2} = 1,0076$.

La chute de température est de $102 - 25 = 77°$.

$$1,0076 \times 87 \text{ k.} \times 77° = 6.750 \text{ calories pour un hectolitre de vin à distiller.}$$

Calculons maintenant ce qu'il faut de calories pour échauffer le vin de 25° à la température d'ébullition qui est de 93°,6.

$$93°,6 - 25° = 68°,6,$$

D'après la table de Maercker la chaleur spécifique moyenne de zéro à 93°,6 serait de :

$$1,054 + 0,00195 \times \frac{93,6}{2} = 1,145$$

$$102 \text{ k.} \times 1,145 \times 68°,6 = 8.011 \text{ calories.}$$

Le récupérateur ne pouvant fournir que 6.750 calories, le vin n'arrivera pas à ébullition. Son augmentation de température sera de :

$$68,6 \times \frac{6.750}{8.011} = 57°,8.$$

57°,8 + 25° = 82°,8 température du vin à son entrée dans la colonne.

8.011 — 6.750 = 1.261 calories à fournir à ce vin chaud pour l'amener à la température d'ébullition de 93°,6.

Voilà donc un premier élément à la dépense de chaleur de la colonne.

Une fois le vin arrivé à 93°,6, il faut fournir assez de calories pour convertir une partie de ce liquide en vapeurs alcooliques. Or nous avons vu qu'il y a 15 kilos de vapeur qui doivent se dégager.

Il n'y a que la chaleur latente de vaporisation à fournir à ces 15 kilos, puisqu'ils sont déjà à la température d'ébullition.

La chaleur latente de vaporisation d'un mélange à 8°,5 est de 513 calories par kilo.

$$513 \times 15 \text{ k.} = 7.695$$

Toute cette chaleur sort de la colonne. La vapeur est condensée, puis refroidie au moyen de l'eau, sans

récupération aucune au profit de la colonne. Donc en somme la colonne dépense par hectolitre de vin :

$$1.261 + 7.695 \text{ calories} = 8.956 \text{ calories,}$$
et elle a récupéré des vinasses 6.750 —

On en conclut tout de suite que si la colonne n'avait ni chauffe-vin, ni récupérateur, elle dépenserait :

$$8.956 + 6.750 = 15.706 \text{ calories.}$$

Rapportons la dépense de calories à l'hectolitre d'alcool distillé à 100°; c'est là le document le plus intéressant pour l'industriel, car il s'agit pour lui de diminuer ses dépenses de fabrication, et pour cette évaluation on rapporte toujours tous les frais à l'hectolitre d'alcool vendu.

Puisqu'on a dépensé 8.956 calories pour obtenir 8 lit. 5 d'alcool à 100°, la dépense pour un hectolitre sera de :

$$8.956 \times \frac{100}{8,5} = 105.300.$$

On peut également évaluer la dépense en vapeur de chauffage. Supposons la vapeur à 5 kilos, c'est-à-dire à 159° de température. La chaleur totale de la vapeur à 5 kilos est de :

$$606.5 + 0,305 \times 159 = 655 \text{ calories.}$$

Mais l'eau condensée qui sort du serpentin ne peut avoir moins de 102°, puisque c'est la température de la vinasse en ébullition. Cette eau emporte donc $102 \times 1,0132 = 103$ cal. 34.

La chaleur utilisée par kilo de vapeur est donc :

$$655 - 103,34 = 551 \text{ cal.},66.$$

La dépense par hectolitre de vin sera :

$$\frac{8.956}{551,60} = 16^{k},27$$

et par hectolitre d'alcool :

$$\frac{105.300}{551,66} = 191^{k}.,3$$

2e Cas. — *Colonne à récupérateur chauffée par barbotage.* — Supposons *a priori* qu'il faille 13 kil.

de vapeur de barbotage par hectolitre de vin à $8^{o},5$, et faisons le calcul de la récupération.

Au lieu de 87 kilos de vinasse nous aurons 87+13= 100 kil. ; reprenons le calcul comme dans le cas précédent :

$$100 \text{ k.} \times 77^{t} = 7.700 \text{ calories.}$$

Pour échauffer le vin, il nous faut exactement comme tout à l'heure 8.011 calories. L'augmentation de température du vin sera :

$$68^{t},6 \times \frac{7.700}{8.011} = 65^{t},9$$

Donc il atteindra $65^{t},9 + 25^{t} = 90^{t},9$.

8.011 — 7.700 = 311 cal. à fournir au vin pour l'amener à l'ébullition.

L'évaporation du flegme demande comme précédemment 7.695 calories.

Dépense totale = 311 + 7.695 = 8.006 calories.
La récupération a été de. . . 7,700 —

Si la colonne n'avait ni chauffe-vin ni récupérateur, elle dépenserait 15.706 calories, nombre égal à ce que nous avons trouvé précédemment.

Par hectolitre d'alcool à 100° la dépense est :

$$8.006 \times \frac{100}{8,5} = 94.190 \text{ calories}$$

Évaluons enfin la dépense en vapeur. Chaque kilo de vapeur apporte 655 calories, et sort du récupérateur à 25^{t}, c'est-à-dire en emportant 25 calories. On en utilise donc 630 par kilo de vapeur.

La dépense de vapeur par hectolitre de vin sera :

$$\frac{8.006}{630} = 12^{k}.,7$$

nous avions supposé 13 kil. *a priori* ; c'est assez approché pour qu'il soit inutile de recommencer le calcul.

Enfin la dépense par hectolitre d'alcool sera :

$$\frac{94.190}{630} = 149^{k},5$$

Faisons de suite remarquer que pour comparer les chauffages par barbotage et par serpentin, il faut com-

parer les calories plutôt que les quantités de vapeur dépensées, car dans le barbotage la vapeur dépensée est perdue, tandis que la vapeur qui sort du serpentin est à l'état d'eau bouillante qu'on peut utiliser avec avantage à l'alimentation des générateurs.

3e Cas. — *Colonne à bas degré et à chauffe-vin.* — Ici nous n'avons plus à nous inquiéter si le chauffage est à serpentin ou à barbotage, car la vapeur condensée sort de la colonne à 102^{t}, soit du serpentin, soit dans les vinasses, mais cela n'a aucune influence sur le nombre de calories fournies à la colonne.

Comme précédemment nous supposerons le chauffe-vin réfrigérant suffisamment parfait pour refroidir le flegme à 25^{t}. Ici encore, pour échauffer le vin de 25^{t} à $93^{t},6$ il nous faudra 8.011 calories, et nous avons pour produire cet échauffement la chaleur des 15 kilos de vapeurs de flegmes à $93^{t},6$ qui se dégagent du plateau supérieur d'alimentation. Nous avons deux phases à considérer :

1re *phase.* — Condensation totale de la vapeur. Nous avons déjà déterminé le nombre de calories qui y correspond. C'est :

$$513 \text{ cal.} \times 15 \text{ k.} = 7.695 \text{ calories.}$$

2e *phase.* — Refroidissement du flegme condensé de $93^{t},6$ à $25^{t} = 68^{t},6$ de chute de température.

$$C = 0,97 + 0,00270\,t \qquad 2t = 93^{t},6$$

D'où : $C = 1,096$

$1,096 \times 15 \text{ k.} \times 68_{t},6$	=	1.127,8 cal.
La 1re phase avait donné . . .		7.695,0 »
Total . .		8.822,8 »

C'est plus qu'il ne faut pour amener le vin à ébullition, puisqu'il suffirait de 8.011 calories.

Au plateau d'alimentation nous n'avons à fournir que la chaleur latente des 15 kilos de flegme, soit 7.605 calories.

C'est le cas le plus économique jusqu'à présent. La chaleur fournie au vin par la condensation du flegme est une véritable récupération de chaleur. Elle est de 8.011 calories. On en conclut que si la colonne n'avait ni chauffe-vin ni récupérateur, elle dépenserait

7.695 + 8.011 = 15.706 calories, chiffre identique aux précédents, et il ne pouvait pas en être autrement.

Dépense de calories par hectolitre d'alcool. .	90.530 cal.
— de vapeur par hectolitre de vin . .	13 kil.,96
— par hectolitre d'alcool	164 kil.,3

Nous verrons (**146**) les tableaux comparant ces dépenses avec celles des colonnes à haut degré.

Nous ne donnons pas ici les détails de calculs des dimensions des divers organes : chauffe-vin, récupérateur tuyaux de vapeur ou d'écoulement, etc., qui se déterminent suivant les règles ordinaires de la physique industrielle (1).

D'ailleurs les calculs ne pourraient être suivis au pied de la lettre, car les résultats pratiques varient suivant la viscosité des liquides, la propreté des organes, etc. Le constructeur d'appareils a besoin d'une grande expérience pour donner aux divers satellites les proportions les plus rationnelles. C'est surtout par le degré d'échauffement du vin que l'industriel devra juger la qualité de sa colonne à distiller, car elle ne peut être économique et fournir un travail puissant et régulier qu'à cette condition.

Nous venons de voir que lorsqu'on distille le flegme à bas degré, l'on peut théoriquement amener le vin à ébullition par un chauffe-vin suffisant (2). Certaines colonnes, celles de Champonnois en particulier, n'emploient pas d'eau de réfrigération ; le vin suffit à la fois à la condensation et à la réfrigération; c'est ce qu'il y a de mieux pour la récupération maximum. Mais si le flegme est à peu près refroidi quand on a des vins à bas degré, il n'en serait plus de même avec les vins riches puisqu'il faudrait 8.822 calories pour amener le refroidissement du flegme à 25°, et qu'il n'y a dans le vin que 8.011 calories disponibles. Dans ce cas, l'addition d'un réfrigérant à eau est indispensable.

(1) *Aide-mémoire de Physique Industrielle.* — E. Bernard et Cᵉ, éditeurs.

(2) Ceci pour les vins de 8° environ et au-dessus. Pour les vins de richesse inférieure il faut ajouter les calories nécessaires à obtenir la température d'ébullition dans la colonne même, au plateau d'alimentation.

Enfin il ne faut pas oublier que même avec les vins faibles, comme ceux-ci ont au moins 25 degrés de température, il est impossible d'abaisser le flegme à moins de 80 degrés en moyenne, et il en résulte des freintes sensibles.

(**127**) *Généralités sur la rectification.*

Au point de vue le plus général, la rectification a pour but la séparation des liquides formant un mélange complexe ; mais, de même que nous avons considéré la distillation comme la simple séparation d'un mélange d'alcool et d'eau, on considère en pratique la rectification comme la simple séparation de l'alcool pur d'avec les impuretés qui l'accompagnent dans le flegme.

Quoique les impuretés du flegme soient nombreuses, et variables suivant l'origine du flegme, ainsi que nous l'avons vu (**96**), on a pris l'habitude de classer les impuretés en deux catégories seulement : les *produits de tête* ou *éthers* dont le point d'ébullition est plus bas que celui de l'alcool, et les *produits de queue*, nommés aussi *fusels* ou *huiles*, renfermant l'ensemble des produits à points d'ébullition plus élevés, eau comprise.

Ainsi définie, la rectification n'est en somme que la séparation d'un mélange de 3 catégories de liquides, *éthers*, *fusels* et *alcool* avec l'obligation d'obtenir ce dernier aussi pur que possible.

La classification est basée, comme on le voit, uniquement sur les différences de volatilité des impuretés.

Mais le problème se complique d'affinités et de solubilités réciproques qui apportent de sérieuses entraves au fractionnement intégral, en particulier certaines odeurs d'origine sont très rebelles à la rectification, des fermentations mal conduites peuvent engendrer aussi des excès d'éther, ou d'ammoniaques composées ou des bases nauséabondes. Aussi complète-t-on souvent la rectification par certaines méthodes spéciales d'épuration.

Nous passerons en revue ultérieurement ces procédés, qui ne sont guère employés que pour l'obtention d'alcools de qualité supérieure, tandis que pour la fabrica-

tion des alcools de qualité courante la rectification proprement dite reste la méthode de purification exclusivement employée.

Avant de résumer la théorie de la rectification telle que nous la comprenons, il n'est pas inutile de donner une description sommaire de l'*appareil de rectification* dans ses lignes générales.

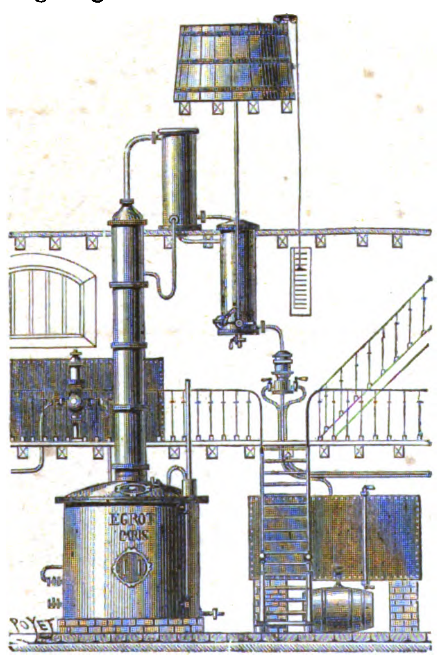


Fig. 30. — Colonne à rectifier discontinue, système Egrot

Dans un rectificateur ordinaire nous voyons à la base une chaudière munie d'un système de chauffage par serpentin, et de capacité suffisante pour contenir tout le flegme à rectifier. La vapeur alcoolique produite dans cette chaudière, monte à travers une colonne à plateaux et arrive au condenseur où elle se scinde en deux parties : la partie condensée rentre dans le haut

de l'appareil, c'est la *rétrogradation* ; l'excédent de vapeur non condensée va au réfrigérant, puis à l'éprouvette, cette portion constitue le *coulage*.

La figure 30 nous montre la disposition d'un appareil de ce genre construit par la maison Egrot.

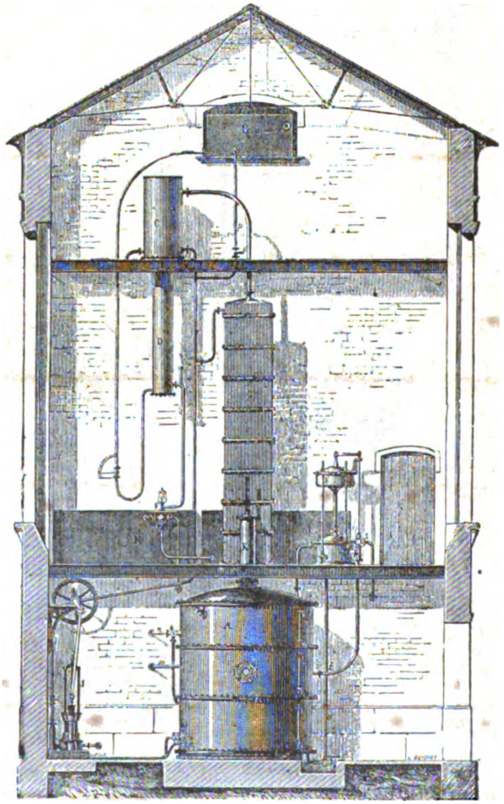
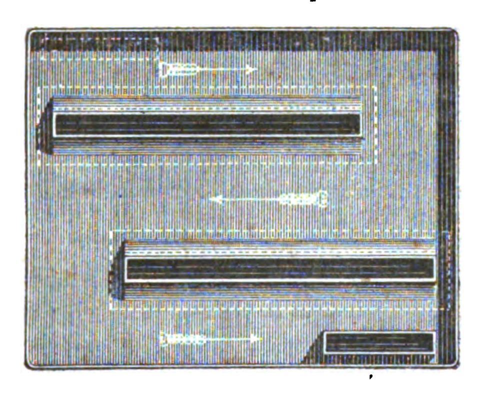


Fig. 31. — Rectificateur Savalle à colonne rectangulaire.

La figure 31 nous montre le rectificateur à plateaux rectangulaires, du dernier type adopté par la maison A. Savalle Fils et Cie, et qui possède jusqu'à 50 plateaux.

Les figures 32 et 32 bis donnent en plan et en coupe les détails de construction de ces plateaux.



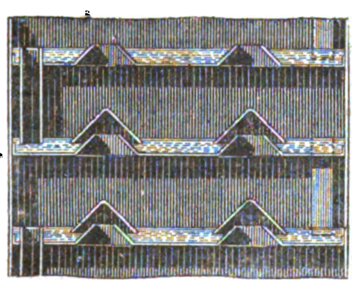


Fig. 32 et 32 *bis*. — Plan et Coupe du plateau Savalle.

Les premiers produits de la rectification qui arrivent à l'éprouvette, sont fort chargés en éthers et en aldéhydes, ce sont les mauvais goûts de tête. Le goût s'améliore progressivement ; on obtient les *moyens goûts*, puis le *bon goût*, puis le *cœur* de rectification. Vers la fin de l'opération reviennent en ordre inverse le *bon goût* ou alcool *fin*, le *moyen goût* et le *mauvais goût de queue* ou *huiles*.

C'est là le type de la distillation fractionnée ; mais si l'on veut se reporter à ce que nous avons vu (**122**) pour la distillation d'un mélange de deux liquides miscibles, il est bien évident que pour chaque mélange

d'alcool et de l'une quelconque de ces impuretés prise isolément, il y aurait lieu d'établir une table analogue à la table de Grœning, de rechercher les valeurs des coefficients de la loi posée par Duclaux, ainsi que les limites dans lesquelles cette loi reste vraie pour chacun des mélanges. Il faudrait ensuite refaire les mêmes essais pour les mélanges de deux impuretés, puis pour les mélanges de plus en plus complexes, etc. Il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau (**96**) pour se rendre de suite compte de la complexité du problème, et juger que même des solutions partielles, relatives aux principales impuretés, nous seraient d'un grand secours pour la théorie que nous voulons établir.

Un essai dans ce sens a été fait par M. Sorel (1) qui, se basant sur les travaux de M. Th. Schlœsing sur la distillation des eaux ammoniacales, et sur ceux de M. Duclaux que nous avons relatés précédemment, a cherché à établir la loi d'ébullition des impuretés contenues dans des mélanges d'eau et d'alcool.

Malheureusement, M. Sorel a voulu négliger l'influence des températures d'ébullition, et expliquer tous les phénomènes exclusivement par la différence de solubilité des divers impuretés dans l'alcool bouillant. Les lois de Duclaux ne sont applicables pour chaque mélange que dans une limite très restreinte de richesses, et en particulier pour les alcools dans les limites des richesses les plus basses, ce qui n'est jamais le cas pour la rectification de l'alcool.

« Si l'on porte à l'ébullition, dit M. Sorel, un mélange de deux liquides solubles l'un dans l'autre, on trouve que pour un litre de liquide contenant un poids s d'impuretés, un mètre cube de vapeurs produites par ce liquide contiendra un poids σ des mêmes impuretés tel qu'on ait la relation $\sigma = Ks$, K étant un coefficient constant pour chaque mélange. »

Ce point de départ est irréprochable, mais nous ne sommes plus d'accord, lorsque M. Sorel ajoute :

« Pour faciliter les calculs suivants, je substituerai

---

(1) Sur la rectification de l'alcool, par M. E. Sorel, ancien ingénieur des Manufactures de l'Etat. — *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, mai 1891, p. 225 et suivantes.

les poids aux volumes, et dirai qu'il y a une relation constante K entre le poids σ d'une impureté contenue dans un kilogramme de vapeur d'eau, et le poids s de la même impureté contenue dans un kilogramme d'eau bouillante *en contact* avec cette vapeur. »

Il y a ici confusion, et les derniers mots que nous avons soulignés eussent dû s'écrire « ... d'eau bouillante *ayant engendré* cette vapeur », ce qui n'est pas du tout la même chose.

Pour étudier les variations de K qu'il appelle « coefficient de solubilité des impuretés dans l'alcool bouillant », M. Sorel a donné (1) la courbe représentant les valeurs de K pour l'alcool amylique, déduites de ses expériences. Cette courbe, d'après les indications de l'auteur, donne le rapport du taux d'alcool amylique dans les vapeurs au taux d'alcool amylique dans les liquides.

Or, au point de vue de la rectification, la seule chose qui nous intéresse, c'est « *le rapport de l'impureté de l'alcool en vapeurs à l'impureté du liquide générateur* », rapport qui n'est plus du tout le même que K, comme nous le montrerons. Nous ne reproduisons pas ici la courbe de M. Sorel, car on trouvera ci-contre la table des valeurs de K qui ont servi à l'établir (2).

D'après cette table, de l'alcool à 25° et contenant 1 % d'impuretés amyliques par rapport à l'alcool éthylique seul, soit 0cc,25 pour 100cc du liquide générateur, a pour K une valeur de 5,5 ; c'est-à-dire que la vapeur alcoolique engendrée, au lieu de n'avoir que 0cc,25 % d'alcool amylique en aura :

$$0,25 \times 5,5 = 1^{cc},375\ ;$$

mais il ne faut pas oublier que la vapeur est plus riche en alcool éthylique que le liquide générateur. D'après Grœning un liquide à 25° donne une vapeur à 75°,1.

Donc l'impureté de la vapeur, c'est-à-dire le taux de l'alcool amylique par rapport à l'alcool éthylique, sera :

$$1^{cc},375 \times \frac{100}{75,1} = 1,83.$$

(1) Loc. cit.
(2) *Distillerie Française*, du 12 nov. 1891.

Le taux d'impureté est donc monté de 1 à 1,83 %, et non pas à 5,5, ainsi que le dit M. Sorel.

Ce nouveau coefficient peut seul porter le nom de coefficient de purification. Nous l'appellerons K', et par un calcul identique à celui que nous venons de faire, nous pouvons constituer une nouvelle table que nous mettons en regard de la table de M. Sorel pour pour bien faire ressortir la divergence.

	Valeur de K (Sorel)	Valeur de K' (Barbet)
Alcool générateur à 95°	0,22	0,22
» » 90	0,27	0,26
» » 80	0,39	0,344
» » 70	0,52	0,41
» » 60	0,80	0,55
» » 53	1,00	0,618
» » 50	1,20	0,70
» » 40	1,90	0,92
» » 30	3,00	1,15
» » 25	5,5	1,83
» » 1	33,2	2,50

Si l'interprétation de M. Sorel était exacte, on posséderait un moyen efficace de fractionner l'alcool amylique en étendant les liquides jusqu'à 1° avant de les distiller, puisque la vapeur contiendrait 33 fois plus de fusel que le liquide primitif ; tandis que la purification réellement obtenue se réduit à fort peu de chose.

Nous sommes donc obligés de faire des réserves expresses sur les calculs et les conclusions du mémoire de M. Sorel, puisque les points de départ sont entachés des inexactitudes que nous venons de signaler.

Le cadre de ce Manuel ne nous permet pas de reproduire en entier la thèse développée par M. Sorel ; elle ne manque pas d'un certain mérite, malgré les critiques que nous venons de formuler, mais il faudrait lui faire subir de sérieux remaniements (1).

(1) Au moment où nous mettons sous presse, vient de paraître une nouvelle brochure : *La Rectification de l'Alcool*, encyclopédie Léauté, où l'auteur, M. Sorel réédite les calculs auxquels nous venons de faire allusion. Sur bien des points nous sommes en désaccord avec lui ; mais comme ce sont souvent des questions touchant à des intérêts personnels, nous ne pouvons et ne voulons pas en aborder la discussion dans cet ouvrage. E. B.

Nous en reviendrons donc à la théorie de la distillation fractionnée, contrariée par les mélanges limites ou hydrates plus ou moins définis. « Ce que l'on a décrit sous le nom impropre d'hydrates d'alcools propylique et amylique, ne sont que de tels mélanges limites, bouillant à 85°-88° que l'on obtient dans la rectification des queues d'alcool ordinaire ; etc. (1). »

Le tableau qui précède montre que pour obtenir un alcool très pur, et bien débarrassé de fusel, il y a nécessité de produire l'alcool à très haut degré ; c'est là le vrai secret de l'enlèvement des mauvais goûts de queue. On y parvient en multipliant le nombre des plateaux, et surtout par l'emploi d'un puissant condenseur (2).

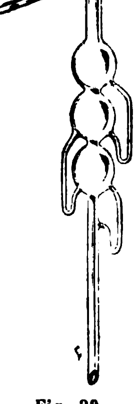


Fig. 33. Tube de Le Bel et Henninger.

Les plateaux de concentration se composent des mêmes organes que nous avons vus pour les plateaux d'épuisement, mais ils sont en général plus petits et, comme ils ne reçoivent que des liquides condensés, c'est-à-dire limpides, on n'a pas à s'inquiéter des dépôts et obstructions. Les liquides condensés sont généralement très peu acides ; aussi construit-on souvent les plateaux au moyen de simples planches de cuivre perforées dont on peut facilement comprendre le fonctionnement par l'emploi au laboratoire d'un tube de Le Bel et Henninger (fig. 33), muni de corbeilles de platine. Ce système ne peut être employé dant les colonnes proprement

(1) Le Bel et Henninger, *Dictionnaire de Wurtz*, premier supplément, t. I, page 663.

(2) Dans leur étude sur la distillation, MM. Le Bel et Henninger (loc. cit.) ne parlent pas du condenseur, et disent que le résultat obtenu est fonction exponentielle du nombre des plateaux. Nous ferons remarquer que dans leur ingénieux appareil, auquel est appliqué ce raisonnement, le rapport de la surface du refroidissement de chaque plateau au volume du liquide contenu dans le même plateau est bien des fois plus grand que dans les plateaux d'appareils industriels, en sorte que l'on peut dire que le tube de Le Bel et Henninger est une colonne où chaque plateau serait surmonté d'un petit condenseur.

dites, parce que l'acidité du vin augmente rapidement le diamètre des petits trous.

Quel que soit le nombre des plateaux rectificateurs, on ne peut se dispenser, dans les appareils industriels, d'un condenseur supérieur ainsi que nous allons maintenant le démontrer.

(**128**) *Effets du barbotage d'une vapeur très volatile dans un liquide moins volatile qu'elle.*

Dans la théorie de la distillation nous n'avons jamais considéré que le cas d'une vapeur barbotant dans un liquide plus volatil qu'elle pour en opérer l'épuisement. En rectification, nous rencontrerons à chaque instant le problème inverse; ainsi l'on voit au début des rectifications les vapeurs aldéhyques barboter dans le liquide alcoolique des plateaux, qui est moins volatil. Qu'en résulte-t-il?

Examinons en premier lieu ce qui se passerait si, dans un vase renfermant 100 litres d'eau à 15ᵗ, nous faisions barboter des vapeurs provenant d'une chaudière renfermant un flegme en ébullition maintenu constamment à 45ᵛ. C'est ce qui se passe au début d'une rectification ordinaire; la chaudière est chargée de flegmes, et les plateaux sont couverts d'eau froide provenant du lavage que l'on a fait à la fin de l'opération précédente. Nous supposons ici que chaque plateau conserve 100 litres d'eau pour faire le calcul.

D'après la table de Grœning, la température d'ébullition de ce dernier sera 83ᵗ,4 et les vapeurs dégagées auront une richesse de 83ᵛ,8. L'eau étant supposée froide, les vapeurs s'y condenseront intégralement jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température 83ᵗ,4.

Pour amener ces 100 litres d'eau à 83ᵗ,4, il nous aura fallu :

$$(83,4 - 15) \times 100 \times 1,01 = 6.908,4 \text{ calories,}$$

1,01 étant la chaleur spécifique moyenne de l'eau à ces températures.

La chaleur latente des vapeurs alcooliques d'un liquide à 45ᵛ étant 409, il aura donc fallu $\frac{6.908,4}{409}$ =

16,89 kilos de ces vapeurs, et nous aurons alors dans le vase : 116,89 kilos de liquide.

Calculons le degré alcoolique qui en résulte. La vapeur alcoolique contenait $83^v,8$ en volume, ce qui fait $78^p,1$ % en poids.

$$16 \text{ k.},89 \times \frac{78,1}{100} = 13 \text{ k.},19 \text{ d'alcool pur.}$$

Il y a 13 k. d'alcool sur 116 k. 89 de liquide.

$$\frac{13,19}{116,89} = 11.28\ \%$$

11,28 % en poids = 14,0 % en volume.

Ce mélange bout à $90^t,6$, et la vapeur alcoolique qui se dégage à l'ébullition a une richesse de $64^v,0$ en volume.

Que se passe-t-il à partir de ce moment ? Il est interdit à la vapeur, et par suite au liquide, de monter au delà de la température initiale de $83^t,4$, puisque c'est la température à la sortie de la chaudière.

La vapeur alcoolique ne peut ni s'enrichir ni s'appauvrir. L'impossibilité de l'enrichissement est évidente, puisque la vapeur barbote dans un liquide plus pauvre qu'elle, et plus pauvre que le flegme de la chaudière qui l'a engendrée. Elle ne peut non plus s'appauvrir, ni par conséquent enrichir le liquide du plateau au-delà du degré de 14 % auquel il vient d'arriver, car il faudrait pour cela admettre (pour qu'il n'y ait ni gain ni perte de calorique) qu'un certain poids de vapeur d'alcool pût se condenser pour évaporer à sa place de l'eau, calorie pour calorie. Or ce fait est contraire aux lois de la distillation : c'est la vapeur d'eau qui peut chasser l'alcool, parce que la température d'ébullition et la chaleur latente de ce dernier sont moindre ; mais la réciproque n'est pas possible.

Donc à partir de ce moment, si aucun fait nouveau ne survient, la vapeur alcoolique traversera le liquide du plateau sans en changer la composition et *comme si ce liquide n'existait pas.*

Nous aurons plusieurs fois l'occasion de nous référer à cette démonstration.

Supposons maintenant que la vapeur alcoolique,

après son passage sur le plateau, se rende dans un condenseur assez puissant pour condenser la *totalité* de la vapeur. Le liquide condensé conservera la même richesse que la vapeur, c'est-à-dire 83ᵛ,8. Si l'on fait rentrer ou *rétrograder* le liquide condensé sur le plateau que va-t-il se passer ? Le liquide pauvre, à 14ᵛ, va être peu à peu refoulé dans la chaudière, grâce au trop-plein du plateau, et le liquide riche à 83ᵛ,8, va se substituer entièrement au premier.

La situation n'est pas du tout la même que tout à l'heure. Ce liquide à 83ᵛ,8 a son point d'ébullition à 79ᵗ,6 ; il est donc dans les conditions voulues pour que les vapeurs dégagées de la chaudière provoquent son ébullition.

Or un liquide à 83ᵛ,8 en ébullition dégage des vapeurs d'une richesse de 91°,3. La rétrogradation du condenseur va donc s'enrichir, ce qui augmentera à son tour la richesse du liquide du plateau et par conséquent celle des vapeurs émises.

Telle est, exposée en peu de mots, la façon dont on opère l'enrichissement des vapeurs alcooliques, enrichissement qu'il est loisible de rendre plus méthodique en multipliant le nombre des plateaux successifs ; telle est la base de la *rectification*.

Théorie du condenseur.

(129) *Le condenseur n'est pas un analyseur.*

Jusqu'à ces dernières années, la théorie du condenseur était restée complètement erronée. Les condenseurs étaient formés soit de plateaux lenticulaires à circulation d'eau, tels les *déflegmateurs* de Pistorius, soit de serpentins placés tantôt dans le haut de la colonne, et tantôt en dehors de celle-ci, soit enfin de caisses tubulaires comme l'*analyseur de Savalle*.

La théorie généralement admise pour le fonctionnement de ces organes était celle que nous trouvons exposée par Maercker (IVᵉ édition, traduction Bosker et Warnery, page 323, t. II) :

« On appelle *déflegmation* l'opération consistant à

enrichir les vapeurs alcooliques en séparant, par refroidissement, un liquide plus faible en degré. La déflegmation n'est en somme que l'inverse de la vaporisation . . . »

On admettait en effet que la réciproque des tables de Grœning était vraie, et que le condenseur arrêtait au passage les vapeurs les plus aqueuses, les faisait rétrograder dans la colonne, et ne laissait aller au réfrigérant que l'alcool purifié et concentré.

Cette théorie est inexacte, au moins pour les hauts degrés de la rectification.

Il est vrai que pour ces hauts degrés l'emploi d'un condenseur est indispensable ; mais ce n'est pas là qu'est le siège de l'affinage ; *le liquide condensé présente à peu près la même composition chimique que le mélange primitif des vapeurs*, ou si l'on préfère : *dans le condenseur la vapeur alcoolique ne s'analyse pas d'une façon appréciable*.

Il est facile de s'en assurer en prélevant en même temps un échantillon du liquide qui rétrograde, et un échantillon du liquide qui coule à l'éprouvette.

Cette simple vérité, contrôlée par de nombreuses expériences, a été émise pour la première fois en 1889, par M. E. Barbet dans le journal de la *Distillerie française*, et a valu à son auteur de nombreuses contradictions. Nous avons aujourd'hui la satisfaction de voir ses adversaires obligés d'adopter sa manière de voir (1).

Pour donner une idée de cette influence du condenseur, nous ne saurions mieux faire que de citer une expérience de M. Barbet (2) faite sur un épurateur où l'on avait voulu se passer de plateaux de concentration des éthers. On avait cherché à y suppléer, au moyen d'un condenseur méthodique à tubes concentriques d'un modèle spécial et très ingénieux.

« Le condenseur était composé de deux séries de tubes concentriques ; les tubes intérieurs avaient 4 mètres de longueur, et les tubes extérieurs environ 40 centimètres de moins. Le but était de laminer la vapeur

(1) Voir : *Les Appareils de Distillation et de Rectification*, par E. Barbet — Masson, éditeur.

(2) E. Barbet. — Loc. cit., pages 32 et 33.



chargée d'aldéhyde et d'éther entre les deux tubes, et de faire circuler de l'eau à l'intérieur du petit tube et à l'extérieur du gros tube. Toutes les molécules de vapeur étaient ainsi forcées de lécher les parois refroidies, sans qu'aucune put y échapper.

« Qu'on veuille bien se rappeler que dans notre épurateur continu, le but est de ne laisser passer jusqu'à l'éprouvette qu'un produit très riche en éthers, et de rétrograder dans les plateaux le plus possible d'alcool éthylique. Supposons qu'on fasse circuler dans le condenseur une énorme quantité d'eau chaude à 60° centigrades; comme l'aldéhyde bout vers 22°, elle ne pourra pas se condenser, tandis qu'au contraire l'alcool éthylique sera forcé de subir une condensation totale, si le flot d'eau est suffisant pour que la température ne s'en élève pas sensiblement. Pour être sûr d'arriver au résultat, une pompe rotative puissante fut installée pour refouler l'eau chaude dans le condenseur ; un thermomètre à cadran indiquait la température de l'eau; l'eau sortant du condenseur revenait dans le bac d'aspiration de la pompe, et l'on réglait une petite arrivée d'eau froide dans ce bac de façon à maintenir toujours au thermomètre la température choisie. Pour la mise en route de l'appareil, un barboteur de vapeur servait à échauffer l'eau au point voulu.

« Ajoutons enfin que la vapeur arrivait au bas de l'espace intertubulaire, et cheminait en montant ; l'observation a son importance, car il se forme sur les deux parois des tubes des condensations qui ruissellent vers le bas, et qui vont à l'encontre du sens des vapeurs. Donc, d'après la théorie de Maercker, au bas du tube la condensation sera à bas degré, un peu plus haut elle sera plus riche, et tout à fait riche en haut, ce qui permettra à la vapeur un enrichissement méthodique et sans aucun contact avec les premières condensations pauvres. Chaque tube ayant 4 mètres de hauteur devait former ainsi une petite colonne de rectification *idéale*. Telle était la conviction à ce sujet qu'il n'avait pas été réservé de plateaux de rectification à la colonne; la rétrogradation rentrait au premier plateau du haut, et sur le même plateau s'opérait l'ali-

mentation en alcool brut à épurer, tant on comptait sur le condenseur pour ne donner que des éthers à haut degré.

« Eh ! bien, malgré tout ce concours de précautions minutieuses, lorsqu'on alimentait l'appareil avec de l'alcool à 45^v Gay-Lussac, on n'avait que 85^v à 86^v à l'éprouvette, alors que sans aucune analyse, d'après la table de Grœning on doit obtenir 83^v,8. De sorte que, non seulement on ne condensait pas l'alcool, mais on ne pouvait même pas opposer une barrière à l'eau qui bout à 100° ; et pourtant on maintenait l'eau de condensation à 50° centigrades seulement. Nous regrettons de n'avoir pas su quel était le degré alcoolique de la rétrogradation.

« Comme les produits de tête à 85° ne trouvent pas acheteurs, on s'est résigné à épurer les alcools bruts sans les couper d'eau, ce qui donne des résultats bien moins bons. Nous avons constaté les résultats suivants :

« L'alcool brut à épurer marquait 83^v,8, G.-Lussac.

« L'eau de condensation était maintenue à 50^v centigrades.

« Les éthers coulaient à raison de 8 °/₀ en volume de l'alcool introduit dans l'appareil. Ils pesaient 93^{v}0. Or, d'après la table de Grœning, sans aucune analyse on doit obtenir 91^v,3.

« D'après Maerker, la rétrogradation aurait dû obtenir 83^v,8 ; or, nous avons vérifié qu'elle marquait 91^{v}5, c'est-à-dire plus que les vapeurs qui se dégagent de l'alimentation à 83^{v}8. Il faut expliquer ce phénomène ;

« Nous possédons assez de données pour établir exactement ce qui se passe dans le condenseur, et voici le résultat de nos calculs :

« Pour 8 volumes coulant à l'éprouvette, le condenseur donne une rétrogradation de 60 volumes à 91^v,5.

	60 volumes	$\times$ 91^v,5 =	54,90 d'alcool pur
	8 —	$\times$ 94^v,0 =	7,52 —
Total	68 volumes à x^v		62,42

$$x = \frac{62^v,42}{68} = 91^v,8.$$

« Et en effet la vapeur qui va au condenseur provient de l'ébullition des liquides suivants :

1° alimentation	100 vol.	à 83°,8 =	83°,8
2° rétrogradation	60 »	à 91°,5 =	54°,9
Total	160 vol.	à x =	138°,7

$$x = \frac{138,7}{160} = 86°,7.$$

« Tel était le degré du mélange de l'alimentation et de la rétrogradation sur le plateau du haut. Or, ce liquide, d'après la table de Grœning donne bien une vapeur à 91°8. En un mot, il faut tenir compte de l'enrichissement du liquide à distiller par le fait même de l'afflux de la rétrogration, et nous voyons qu'avec le plus perfectionné des condenseurs à enrichissement méthodique, tout ce que nous avons pu obtenir c'est que 68 parties de vapeur alcoolique à 91°,8 se scindassent en 8 parties de vapeur à 94° et 60 parties de liquide à 91°5. L'appauvrissement du liquide de rétrogradation par rapport à la vapeur ascendante n'est que de 3 dixièmes de degré !

« En voyant ces résultats, nous avons conseillé d'effectuer l'alimentation en alcool brut à quelques plateaux plus bas, afin de laisser uniquement la rétrogradation aux plateaux supérieurs. En même temps, nous avons fait diminuer le degré de l'alcool brut par de l'eau ; l'alimentation marquait 50°,5 d'alcool.

« Une première fois nous avons réglé l'appareil pour fournir environ 7 litres de produits de tête pour 100 litres d'alcool brut à 100° ; la température de l'eau de condensation était de 50°5.

Résultats :	Ethers	95°,2
	Rétrogradation	93°,7
	Différence	1°,5

« Ensuite, nous avons laissé monter la température de l'eau du condenseur à 60° centigrades. Le coulage de l'éprouvette de « têtes » a beaucoup augmenté, il est devenu trois fois plus fort environ. Malgré ce fort coulage, qui correspondait à une rétrogradation moins abondante

Les éthers marquaient encore	95°,0
Et la rétrogradation	93°,4
Différence	1°,6

« On voit que la marche de l'appareil avait été complètement changée, et qu'avec une alimentation à 50°, on obtenait avec la plus grande facilité des produits à 95°, tandis qu'on n'avait auparavant que 94°, avec une alimentation à 84°.

« De ces expériences, il faut absolument conclure que le raffinage et la rectification se font dans la *colonne* et non point au *condenseur*, — ou du moins en très faible proportion et grâce à des artifices spéciaux qui n'existent presque jamais dans les condenseurs ordinaires.

« *Théorème. — Un condenseur ne peut avoir d'effet utile, qu'autant que sa rétrogradation soit analysée dans une série de plateaux ne recevant aucun autre liquide que cette rétrogradation.*

« Tel est le principe dont il ne faut jamais s'écarter, nous verrons malheureusement, en étudiant les colonnes distillatoires, qu'il est presque partout méconnu. »

(130) *Ebullition et condensation.*

Nous voyons encore par ce qui précède, que l'on fait fausse route lorsque l'on cherche à améliorer les appareils de rectification par la multiplicité des condenseurs, et en faisant rentrer les diverses rétrogradations à des hauteurs différentes dans la colonne, car toutes ces rétrogradations sont identiques.

On fait également erreur en intercalant des condenseurs à mi-hauteur, car la rétrogradation qui en résulte ne travaille que sur moitié des plateaux ; elle est donc moins efficace que si on la produit tout à fait en haut.

C'est dans les derniers plateaux du haut qu'il faut posséder une *clairce* abondante, très pure et très renouvelée, pour donner le dernier degré d'affinage à l'alcool. Mais il est surtout un procédé qui va tout à fait à l'encontre de la théorie et de la pratique : c'est celui qui consiste à mettre un condenseur à eau entre la chaudière et le bas de la colonne de rectification. Ce condenseur fait dépenser du combustible en pure perte, car il est impuissant ; la rétrogradation retombe

dans la chaudière, et il faut la réévaporer. Le condenseur ainsi placé peut servir de brise-mousse, ce qui a son utilité avec certains flegmes ; mais pour ce rôle, il n'y a pas besoin de réfrigérant ; des chicanes dans une chambre *un peu large* suffisent.

L'ébullition des liquides alcooliques soulève un grand nombre de problèmes assez délicats dont on ne se rend pas facilement compte *a priori*.

Une des choses qui étonnent tout d'abord, c'est la non-réciprocité des phénomènes d'ébullition et de condensation. Ainsi, reprenons le cas d'un vin à 8,5 % d'alcool en volume. Le point d'ébullition de ce vin est $93^t,6$, et la richesse alcoolique des vapeurs qui s'en dégageait est de $53^v,4$.

Ces vapeurs ont forcément la température de $93^t,6$ tandis qu'une fois condensées, si on les remet en ébullition, la température ne sera que de $82^t,5$.

Il semblerait que, par analogie avec l'eau, la température de condensation devrait être de $82^t,5$, c'est-à-dire identique à celle de l'ébullition. Pourtant, il n'en est rien.

Il faut songer que lorsqu'on amène à ébullition un liquide à $53^v,4$. ce n'est qu'au début que la température est de $82^t,5$. Mais au fur et à mesure que l'épuisement se produit, la température s'élève progressivement à 100^t. De sorte qu'il y a une grande distinction à faire au sujet des constantes physiques applicables à un mélange déterminé. Le tableau de Maercker (**120**) n'est juste que pour un liquide qui ne varie pas de degré alcoolique (par exemple grâce à la rentrée constante d'une alimentation convenable), ou bien pour un temps d'ébullition assez court pour ne pas influencer sensiblement sur le degré du liquide.

Mais, si l'on cherche la quantité de chaleur à fournir à 1 kilo de liquide a $53^v,4$ pour l'évaporer *entièrement*, il faut bien se garder de consulter la table de Maercker à la ligne des $53^v,4$, qui donnerait :

Chaleur spécifique moyenne. .	$0,97 + 0,00273\,t$
Chaleur latente de vaporisation	384
Point d'ébullition	$82^t,5$

Ces données ne sont exactes que pendant un temps

infiniment petit au début de l'opération. Tandis que les données moyennes seront fournies par la somme intégrale de toutes les valeurs successives correspondant aux phases de l'épuisement.

Cette moyenne convenablement calculée doit correspondre aux caractéristiques de la vapeur dont la condensation brutale a engendré le kilogramme de liquide à 53ᵛ,4 que nous considérons.

Or, nous connaissons ces éléments ; car la vapeur en question sortait d'un liquide à 8ᵛ,5 qui était en ébullition, et qui donnait :

Chaleur latente	513 calories
Température d'ébullition. . .	93ᵗ,6.

Donc, notre kilogramme de liquide à 53ᵛ,4 a pour température d'ébullition moyenne 93ᵗ,6 (et non la moyenne arithmétique $\frac{82,5 + 100}{2} = 91^t,25$), et la chaleur latente moyenne est 513 calories (et non la moyenne arithmétique $\frac{384 + 536}{2} = 460$).

En continuant la comparaison, nous dirons que la distillation totale du kilogramme de liquide à 53ᵛ,4 nous fournira, après condensation un kilogramme de liquide à 53ᵛ4, et non pas la moyenne arithmétique du degré initial et final $\frac{85,8 + 0}{2} = 42^v,9$.

En résumé, nous constatons de profondes divergences, au point de vue des facilités de séparation de l'alcool, entre les résultats de l'ébullition d'un liquide alcoolique, ou de la condensation partielle d'une vapeur alcoolique dans un analyseur. Par l'ébullition du liquide, l'enrichissement des vapeurs est bien accentué.

Par la condensation partielle, telle qu'on la provoque industriellement, il n'y a presque pas de *déflegmation*, ou bien alors il faut s'ingénier en artifices spéciaux qui ne sont réalisables qu'en laboratoires.

C'est ce qu'a fait M. Sorel au moyen d'un appareil qu'il a décrit dans son mémoire à la *Société d'en-*

couragement (1), travail auquel nous renvoyons nos lecteurs. En somme, au moyen d'un condenseur maintenu à la température de 82-83°; et divisé en quatre tronçons ayant chacun sa sortie, puis d'un second condenseur à 76-77°, et enfin d'un réfrigérant qui achevait de recueillir tout l'alcool échappé aux deux condenseurs précédents, les quantités recueillies aux diverses sorties avec leur degré ont été les suivantes :

							à 100°		p 100
1er condenseur chaud	1re prise	5 l. 780	à	54°,5	=		31,150	=	34,9
	2e —	3 l. 1715	à	76°,25	=		21,421	=	26,8
	3e —	1 l. 2230	à	82°,5	=		11,014	=	11,2
	4e —	0 l. 860	à	84°,0	=		01,722	=	8,0
2e condenseur chaud . .		1 l.	à	82°,5	=		01,825	=	9,2
Réfrigérant			à	89°	=		01,890	=	9,9
		13 l. 044	à	69°	=		91,022	=	100.0

(131) *Phases d'une rectification ordinaire.*

Examinons ce qui se passe dans un rectificateur discontinu lorsqu'on le met en route, en supposant que la colonne soit munie de plateaux à calottes, et que les plateaux soient étanches. Dans ce cas, comme on vient de rincer l'appareil, les plateaux restent chargés d'eau ; que va-t-il se passer quand la vapeur alcoolique va monter ?

Admettons que le flegme de la chaudière soit à 45 degrés. La température d'ébullition, en négligeant la pression qui se forme dans la chaudière, est théoriquement de 83°,4 centigrades, et les vapeurs qui se dégagent contiennent 83,8 % d'alcool en volume.

Nous allons voir se répéter pour chacun des plateaux successivement le phénomène que nous avons étudié (**128**) pour le barbotage des vapeurs dans un liquide pauvre, jusqu'au moment où les liquides arrivent au condenseur. A ce moment, le condenseur étant tout à fait froid au début, il se produit une condensation *totale*. Donc le liquide qui rétrograde a le même degré que la vapeur qui y arrive, soit 83°,8. Il vient se mélanger au liquide du premier plateau qui n'a que 14 %. La richesse moyenne de ce premier plateau monte rapidement, grâce surtout au renouvellement par le

(1) Loc. cit. et Distillerie française de nov. 1892, page 556.

trop-plein, et au fur et à mesure que la richesse de ce plateau augmente, celle des vapeurs, et par suite celle de la rétrogradation, montent très vite. Si l'on met assez d'eau au condenseur pour arrêter le coulage pendant un certain temps, on déplace tous les liquides à bas degré qui sont sur les plateaux, et l'on obtient le régime normal de l'appareil.

Si le condenseur est puissant, et si l'on imprime à l'ébullition une assez bonne allure pour que l'on puisse rétrograder sept ou huit fois le volume qui coule à l'éprouvette, l'alcool atteindra 96^{v},5 à 97^{v}; ce degré semble être à peu près la limite de ce que l'on peut atteindre, c'est-à-dire qu'arrivé à ce point on ne trouve plus de différence entre la teneur en alcool du liquide et celle de la vapeur qu'il engendre.

L'expérience directe montre que le degré du liquide sur le premier plateau du bas est bien supérieur à celui qui résulterait de la seule ébullition des flegmes; en d'autres termes, la rétrogradation est si abondante qu'elle exerce son influence jusqu'au bas de la colonne à plateaux, à toutes les périodes de la rectification. Voici une expérience qui le démontre clairement : à différentes phases d'une même rectification nous avons prélevé échantillon des liquides alcooliques qui se trouvaient sur les plateaux du rectificateur. Le tableau suivant donne les degrés comparatifs de ces liquides :

Nombre d'heures de coulage	3e plateau à partir du bas	30e plateau	32e plateau	Rétrogradation	Éprouvette
1/4 d'heure . .	79°,9	95°,4	95°,9	96°,2	95°,7
1 heure . .	88,8	96,2	96,4	96,7	96,3
2 — . .	90,0	96,4	96,6	96,9	96 8
6 — . .	89,7	96,6	96,7	96,9	96,8
23 — .	88,6	96,5	96,7	96,8	96,9
30 — . .	86,2	96,7	96 9	96,8	96,9
45 — . .	0,0	86,0	89,2	93,0	93,7

Nous avons expérimenté sur un rectificateur à plateaux perforés, muni de 34 plateaux, et ne possédant pas de dôme de vapeur. C'est en raison de cette dernière

circonstance que nous n'avons pris les échantillons qu'au 3e plateau du bas, et non au premier, pour éviter les erreurs provenant des entraînements vésiculaires.

On remarque qu'au bout de 2 heures le degré de ce plateau était monté à 90ᵛ, alors que le degré naturel, non influencé par la rétrogradation, était au début de 79ᵛ,9. Par ce que nous avons démontré antérieurement, on sait que jamais un condenseur ne sera capable d'analyser une vapeur à 79ᵛ,9 au point de la faire sortir à 90ᵛ ; tout au plus gagnera-t-on deux degrés si le condenseur est très puissant. Donc un condenseur en cet endroit est totalement inutile, ce que nous avions déjà indiqué.

La rectification dont nous donnons le tableau ci-dessus a duré 46 heures. Au bout de 30 heures, le liquide de la chaudière ne devait plus avoir qu'environ 15ᵛ ; donc la vapeur engendrée était, d'après Grœning, à 65ᵛ,4 ; néanmoins le 3e plateau était à 86ᵛ,2, ce qui est un enrichissement considérable, dû à la puissance de la rétrogradation.

Nous voyons dans ce tableau un nouvel exemple de l'impuissance du condenseur à faire une véritable analyse des vapeurs : ainsi au bout de 45 heures de coulage, alors que le degré commence à baisser et que l'éprouvette ne marque plus que 93°,7, la rétrogradation possède encore 93°,0. L'on s'étonnera peut-être de voir qu'au début l'éprouvette donnait moins de degré que la rétrogradation ; cela tient, pensons-nous, à un petit défaut de construction que nous avons remarqué au réfrigérant ; la tubulure de sortie de l'alcool était située à quelques centimètres au-dessus de la plaque tubulaire du bas, de sorte que le réfrigérant ne pouvait se vider intégralement ; après chaque rectification il y restait une certaine couche de liquide à bas degré, et en raison de la plus grande densité, ce liquide n'était entraîné que petit à petit en influençant le degré de l'alcool de quelques dixièmes.

(132) *Calcul du volume de la rétrogradation.*

Nous manquons ici de données théoriques pour calculer *à priori* la rétrogradation, et de même que le

degré de 96°,5 a été déterminé par l'expérience, de même c'est à l'expérience qu'il faut recourir pour déterminer la rétrogradation. Enfin, nous ne pouvons guère songer à interposer un compteur ou un autre instrument de mesure sur le tuyau de rétrogradation, ce n'est donc que par le calcul des calories absorbées au condenseur que l'on peut arriver au résultat.

Nous allons donner un exemple de ce calcul, fait pour un rectificateur à chaudière métallique nue, et à plateaux perforés.

Il faut commencer par déterminer la dépense de vapeur par hectolitre d'alcool, en pesant l'eau de condensation, puis déterminer la perte de chaleur par rayonnement de la chaudière, perte qui se calcule par les formules de physique industrielle.

Dans le cas qui nous occupe, cette perte de calorique correspond à 5 %, donc tout le reste, soit 95 %, concourt à l'analyse des vapeurs, c'est-à-dire à la rectification. Le refroidissement par l'air du condenseur y concourt d'une façon directe, en s'ajoutant à l'effet de l'eau; le refroidissement de la colonne à plateaux opère d'une façon un peu différente, en ce sens qu'il produit une légère condensation à chaque plateau successivement. Bien que l'effet utile de ces condensations successives soit moindre que si elles étaient reportées au haut de l'appareil, nous allons supposer, pour la simplicité du calcul, qu'il n'y a pas de rayonnement, et que toute l'analyse se fait au condenseur. Cela nous permettra d'évaluer le volume de la rétrogradation, par rapport à l'alcool rectifié qui passe à l'éprouvette.

Pendant la période du bon goût, on dépense 315 kilogrammes de vapeur par hectolitre d'alcool coulant à l'éprouvette. Nous admettrons que ce soit par hectolitre compté à 100°.

315 kil. × 555 calories = 174.825 calories.

Déduisons 5 % pour rayonnement de la chaudière. soit 8.741 cal.

174.825 — 8.741 = 166.084 calories.

Telle est la chaleur qui reste en haut de l'appareil, et qui entre dans le condenseur.

Cette vapeur se scinde en deux portions, la rétrogradation et le coulage à l'éprouvette. Ce dernier passe en vapeur du condenseur au réfrigérant, et emporte la chaleur suivante :

1° Chaleur latente de vaporisation, $\lambda = 229$ calories ;

2° Chaleur spécifique pour le refroidissement du liquide, de 78^t,6 à 15^t :

$$C = 0{,}640 + 0{,}00320\,t \text{ pour l'alcool à } 96^o$$
$$2\,t = 78^o{,}6 \qquad t = 39{,}3$$
$$C = 0{,}640 + 0{,}00320 \times 39{,}3 = 0{,}765.$$

Les chaleurs spécifiques et chaleurs latentes se rapportent à l'unité des poids, et non à l'unité de volume. Calculons tout en poids.

L'hectolitre à 100^v correspond à 104 litres à 96^v.

Densité à 96^v = 0,814 à 15° de température.

Poids du litre = 0,814 × 0,999 = 0 kil. 813.

$$104 \text{ litres} \times 0{,}813 = 84 \text{ k },55.$$

100 kilogrammes d'alcool en vapeur emportent au réfrigérant :

$$100 \text{ kil.} \times [229 + 0{,}765 \times 63^o{,}6] = 27.765 \text{ calories,}$$

Si le rectificateur dépense 166.084 calories, pour 84 kil. 55 d'alcool, c'est-à-dire par hectolitre pour 100 kilogrammes, il dépensera :

$$166.084 \times \frac{100}{84{,}55} = 196.430 \text{ calories.}$$

La différence 196.430 — 27.765 = 168.665 est le nombre de calories spécialement absorbées par la rétrogradation. Voyons à quel poids de liquide cela correspond.

La rétrogradation se refroidit un peu ; elle n'a guère que 70^t de température en rentrant dans le rectificateur. L'appareil devra donc commencer par la réchauffer de 70 à 79^t, puis il lui fournira la chaleur latente de vaporisation nécessaire pour la réévaporer.

1° Réchauffement : 0,765 × 9^t = 6 cal. 885, soit 7 calories en nombre rond ;

Évaporation : $\lambda = 229$.

Chaleur totale : $Q = 229 + 7 = 236$ calories.

Autant de fois ce nombre est contenu dans les 168.665 calories disponibles, autant il y a de kilogrammes de rétrogradation % kilogrammes de coulage.

$$\frac{168.665}{236} = 714 \text{ kilogrammes.}$$

Il était donc entré au condenseur, à l'état de vapeur, $714 + 100 = 814$ kilogrammes d'alcoool, et, sur ce poids, 100 kilogrammes sont allés à l'éprouvette, et 714 kilogrammes ont été rétrogradés. C'est une proportion considérable.

En répétant dans d'autres expériences ce calcul, que nous empruntons à son ouvrage, M. E. Barbet a reconnu que pour obtenir 95°, et pour le même appareil, il suffisait de 220 kilogrammes de rétrogradation pour 100 kilogrammes de coulage, et que ces 100 kilogrammes d'alcool, à 95°, avaient dépensé pratiquement pour leur concentration 81.457 calories. C'est moins du tiers de l'exemple précédent.

En opérant sur un rectificateur continu, et à plateaux à calottes, il a trouvé 650 kilogrammes de rétrogradation pour 100 kilos de coulage à 96°,5, correspondant à 182.051 calories. C'est une proportion un peu plus avantageuse que dans le rectificateur ordinaire à trous examiné plus haut. Du reste, il est bien évident qu'il doit y avoir un certain coefficient variant avec le mode de construction des appareils.

Nous ajouterons qu'il doit être complètement indifférent que l'appareil soit continu ou discontinu pour la question qui nous occupe. Etant donné le même nombre de plateaux, de construction identique (1), nons disons que, pour arriver à un degré alcoolique 96°,5, par exemple, il faut avoir exactement la même proportion de rétrogradation dans un cas comme dans l'autre.

On voit, par ces résultats, qu'il faut une volumineuse rétrogradation pour arriver à donner une grande finesse

(1) Nous disons le même nombre de plateaux travaillant en rectification ou concentration.

à l'alcool; c'est ce qui a fait le succès des appareils Savalle, lorsqu'ils ont paru; on ne regardait pas à la dépense supplémentaire de vapeur qui en résultait, parce que l'alcool était bien meilleur, et que cette supériorité compensait facilement l'excédent de dépense.

La pratique démontre que la dépense diminue quand on augmente le nombre des plateaux de rectification, et il semble aussi que les anciens plateaux à calottes soient plus avantageux que les plateaux perforés à ce même point de vue de la dépense de vapeur.

Etant donné un appareil, on peut lui faire consommer la quantité de vapeur que l'on veut, pourvu que le condenseur soit assez puissant. C'est à l'industriel d'apprécier dans quelle limite il doit augmenter cette dépense, en examinant la qualité et par suite la valeur de l'alcool qui provient de chaque allure particulière. D'autant plus que le chiffre de 96°,5 indispensable à l'épuration n'a pas une rigueur mathématique, et pratiquement varie de quelques dixièmes en plus ou en moins suivant la nature des impuretés.

On modifie l'allure en faisant varier la hauteur du régulateur, ce que nous avons déjà expliqué (**119**).

Pour les rectificateurs, on a une autre manière d'épurer d'avantage l'alcool; c'est de diminuer le coulage en mettant plus d'eau au condenseur; le régulateur restant à la même pression, la dépense de vapeur à l'heure reste la même; mais comme le produit à l'éprouvette est moindre, il y a une plus grande dépense de vapeur par hectolitre d'alcool, c'est-à-dire plus grande proportion de rétrogradation et meilleur affinage du 3/6. Seulement le rendement industriel de l'appareil est sensiblement diminué, car la rectification peut durer 50 ou 60 heures au lieu de 36, et la freinte d'alcool croît en même temps.

(**133**) *Fractionnement des impuretés.*

Maintenant que nous avons vu ce qui se passe dans un rectificateur au point de vue de l'enrichissement alcoolique, voyons comment se comportent les impuretés :

Au début, bien que les produits aldéhydiques ou

éthériques mélangés à la vapeur alcoolique se trouvent soumis dans le condenseur à une température bien supérieure à leur point d'ébullition, l'alcool qui se condense sur les tubes de l'analyseur exerce sur ces vapeurs, en raison de son pouvoir dissolvant, une attraction telle qu'elle triomphe en grande partie de leur *surtension*, si nous pouvons nous exprimer ainsi, attraction d'autant plus forte que le condenseur est plus froid et que les liquides condensés sont à une température plus éloignée de leur point d'ébullition.

La chimie offre d'ailleurs bien des exemples de ces affinités de dissolution ; si l'on fait arriver du gaz chlorhydrique en présence d'eau bouillante, on voit le gaz se dissoudre instantanément dans l'eau, malgré sa haute température. La distillation ou concentration de l'ammoniaque est une application et un exemple frappant de ces affinités.

De même, au condenseur, l'alcool liquéfié redissout instantanément une bonne partie des vapeurs éthériques ou aldéhydiques et les force à rétrograder dans l'appareil.

Ce liquide complexe, qui n'a pas pu s'analyser lorsqu'il était en vapeurs, va au contraire éprouver une épuration excellente par l'ébullition dans la colonne à plateaux. Les vapeurs éthériques qui s'en dégageront seront renvoyées au condensateur qui n'en laissera passer qu'une petite partie au réfrigérant et qui en rétrogradera à nouveau la plus grosse part dans les plateaux de la colonne. Et ainsi de suite ; c'est pour cela que ces produits s'éternisent et qu'on en trouve encore dans le 3/6 après un très grand nombre d'heures de coulage de l'appareil.

Pour les produits de queue, au contraire, le fractionnement est beaucoup plus net, à condition bien entendu d'obtenir dans la colonne un degré assez élevé, car lorsqu'un rectificateur ne peut produire que de 94 à 95 degrés, l'alcool obtenu, même dès les débuts de l'opération, contient toujours du fusel.

Nous avons déjà vu l'explication de ce fait (**127**) par les coefficients K de M. Sorel, ou plus simplement par le mélange limite bouillant à 85°-88° que l'on obtient dans la rectification des queues. Ce mélange

formé principalement d'alcools amylique, propylique, butylique, d'un peu d'alcool ordinaire et d'eau [1], bout à une température inférieure à celle de ses composants. Il est donc entraîné rapidement hors de la chaudière avec les vapeurs aqueuses, et va barboter dans les plateaux de la colonne, mais là il rencontre de l'alcool de rétrogradation de plus en plus concentré qui le déshydrate, le décompose en ses éléments, et ceux-ci isolés ne peuvent rentrer en ébullition (**96**) qu'à des températures beaucoup plus élevées. Ils rétrogradent donc jusqu'à ce qu'ils aient trouvé un plateau où le degré est suffisamment bas pour reformer ce mélange limite qui, se volatilise à nouveau se déshydrate et retombe, se cantonnant ainsi dans quelques plateaux de la colonne sans pouvoir atteindre au condenseur. Si ces vapeurs arrivaient au condenseur l'alcool de coulage en contiendrait également.

Ce fait ne se produit qu'à la fin de l'opération, lorsque le rectificateur ne renferme plus assez d'alcool pour qu'il soit possible, par la rétrogradation, de maintenir sur les plateaux supérieurs un liquide à 96°,5. Si nous regardons de près ce qui se passe alors, nous avons une réédition des phénomènes du commencement. L'ancienne théorie dirait que le condenseur va condenser les huiles, et laisser passer au réfrigérant et à l'éprouvette le peu d'alcool éthylique qui reste. Il n'en est pas ainsi.

Le mélange limite ayant un pouvoir dissolvant pour l'alcool (tout comme l'alcool vis-à-vis des éthers), le liquide huileux condensé redissout instantanément une partie des vapeurs éthyliques qui sont en sa présence, et les rétrograde dans les plateaux. Le jeu de la navette va recommencer, à telle preuve que, tout à fait à la fin, quand il ne passe plus que des huiles insolubles dans l'eau, huiles dont le point d'ébullition dépasse 100 degrés, on trouve encore de l'alcool éthylique dans ces huiles. L'alcool éthylique qui bout à 78,5 n'a pas pu arriver à se dégager complètement, *malgré sa surtension* dans le condenseur, et l'on peut en constater jusqu'à 30 % dans l'huile de fusel.

---

(1) *Dictionnaire de Wurtz*, premier supplément, page 663.

Seulement comme ce phénomène ne se produit que tout à fait dans la dernière période de la rectification, le préjudice qu'il cause au fractionnement est infiniment moindre que pour la période de tête.

Pour donner une idée exacte des diverses phases de la rectification, nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici les graphiques d'analyses d'alcools qui nous ont été communiqués par le Dr Lang, chimiste du Monopole des Alcools en Suisse, et qui ont déjà paru dans *L'Alcool et le Sucre*, novembre 1893.

Les figures 1 à 6 de la planche V, nous donnent les résultats de 6 rectifications exécutées dans la raffinerie d'alcools de la Régie Suisse à Delémont.

Les abscisses indiquent les heures, au moment du prélèvement des échantillons, et les ordonnées la durée de la décoloration dans les analyses au permanganate. Pour les débuts de la rectification, on a été obligé, pour rendre la marche de l'épuration plus visible, d'adopter une échelle 60 fois plus grande pour les ordonnées que pendant le cœur de la rectification ; autrement dit les ordonnées représentent des secondes pendant cette première période, tandis qu'ultérieurement elles représentent des minutes.

Pour les rectifications numéros 4, 5 et 6 les résultats simultanés de la dégustation ont été indiqués.

On a en outre joint à ces tableaux les teneurs en aldéhydes et en furfurol. Faisons remarquer à cet égard, pour éviter toute confusion, que les ordonnées de l'aldéhyde et du furfurol représentant le volume de ces impuretés, l'alcool est d'autant plus pur que cette ordonnée est plus faible. Au contraire, pour les essais au permanganate, l'alcool est d'autant plus pur que l'ordonnée est plus grande.

On sait combien longtemps se prolonge la période des mauvais et moyens goûts de tête, aussi bien à l'analyse qu'à la dégustation, alors qu'au contraire la période de queue est très courte, la pureté tombant brusquement.

On verra en outre sur cette même planche quelques courbes indiquant l'influence de la lumière et du temps sur la pureté de l'alcool, c'est-à-dire du vieillissement. On en trouvera tous les détails dans le savant article

du Dr Lang (loc. cit.), auquel nous renvoyons le lecteur.

La rectification discontinue a été l'objet d'une intéressante étude de la part de M. Mohler (1), qui a fait l'analyse de chacun des lots fractionnés pendant une opération suivie avec le plus grand soin. D'après ses analyses on remarque que l'élimination des impuretés par ce mode de rectification est très incomplète, et que le cœur même conserve environ 13,5% des éthers primitivement contenus dans le flegme. Le fractionnement des bases est non moins imparfait, et l'on a beau multiplier le nombre des sélections, on ne peut à aucun moment atteindre à la pureté absolue.

Il n'y a pourtant, en somme, que trois catégories de substances dans les flegmes :

1° L'ensemble de tout ce qui est plus volatil que l'alcool, ou produits de tête ;

2° L'alcool éthylique pur ;

3° L'ensemble de tout ce qui est moins volatil que l'alcool, ou produits de queue.

Donc toute la science du distillateur doit tendre à ne faire *que trois lots*. Tous les autres sont des lots bâtards.

Pour pouvoir faire ces trois lots d'une manière nette et tranchée, M. Barbet a eu recours au grand principe de la *division du travail* et à la *continuité* de la rectification.

(134) *La rectification continue, ou purification des alcools par fractionnement continu.*

Nous allons donner tout d'abord une description du rectificateur continu tel qu'il est construit actuellement, et que le représente la figure 34.

Dans une opération préliminaire, M. Barbet s'est attaché à débarrasser le flegme de tous les produits plus volatils que l'alcool, ou produits de tête.

Une fois le flegme ainsi épuré, il est envoyé au rectificateur continu proprement dit, qui se charge de

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences du 5 janv. 1891 et *Distillerie française* du 12 février 1894.

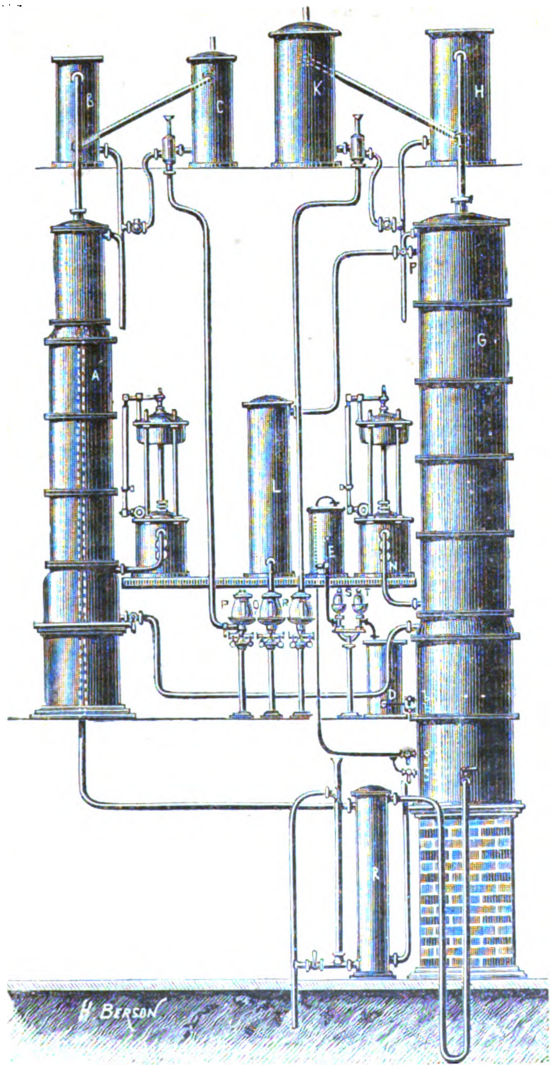


Fig. 24. — Rectificateur continu, système E. Barbet.

l'amener à 96-97 degrés, et d'éliminer les « produits de queue ».

1° *Fonctionnement de l'épurateur.* — Les flegmes à 40-45° préalablement chauffés par le récupérateur R, entrent dans l'épurateur A au plateau dit *d'alimentation*, et descendent en s'épuisant progressivement en éthers par une distillation partielle et méthodique, tout comme le vin dans une colonne à distiller s'épuise en alcool.

Supposons en effet une colonne distillatoire quelconque, munie d'un condenseur et de quelques plateaux de déflegmation convenablement aménagés. On peut régler l'appareil pour donner à l'éprouvette 6,8 ou 10 % de liquide, et ce liquide (flegme) emporte toute la partie la plus volatile du vin, c'est-à-dire l'alcool et ses congénères.

De même à l'épurateur, si l'on règle l'eau et la vapeur de façon à récolter à l'éprouvette 2, 3 ou 5 % de l'alcool qui entre dans l'appareil, on peut être assuré que ce liquide emportera tout ce qu'il y a de plus volatil dans les flegmes soumis à la distillation, c'est-à-dire précisément tous les « produits de tête », aldéhydes, éthers, etc.

On obtient *l'épuisement* des flegmes en produits de tête, tout comme on obtient l'épuisement du vin en alcool.

L'analogie avec la distillation du vin est complète. L'ancien rectificateur discontinu n'est en somme qu'un alambic; le chauffage du flegme dans la chaudière produit progressivement l'épuisement en produits de tête, tout comme le chauffage du vin dans l'alambic en amène l'épuisement.

Mais cet épuisement est très lent.

Nous avons montré plus haut (**123**) combien l'épuisement du vin à l'alambic simple est plus long et plus onéreux que dans les appareils de distillation continue.

L'épuisement des « produits de tête » dans l'*alambic rectificateur* discontinu est encore bien plus difficile, parce que les aldéhydes ont pour l'alcool du flegme une affinité bien plus grande que l'alcool pour l'eau. En outre le rectificateur possède une volumineuse ré-

trogradation qui est un obstacle sérieux à la sortie définitive des éthers, et qui oblige à les réévaporer bien des fois.

Aussi l'épurateur continu a-t-il sur l'ancien rectificateur, pour l'expulsion des éthers, une supériorité considérable, beaucoup plus remarquable encore que la supériorité de la colonne distillatoire continue sur l'ancien alambic.

Si nous continuons la comparaison, nous voyons que l'ancien alambic fournissait un grand volume de produits à bas degré qu'il fallait repasser, tandis que les flegmes des alambics continus sont à degré constant élevé, et d'une pureté relative.

De même le rectificateur ancien donne un grand volume de produits bâtards, à basse teneur éthérique, qu'il faut repasser ; tandis que les « éthers continus » sont à degré constant (93-94) et d'une grande concentration en éthers.

En un mot l'épurateur supprime les *moyens goûts* de tête.

2° *Rectification continue proprement dite.* — Le problème précédent une fois résolu, la rectification continue est facile à réaliser, car le flegme ne contient plus désormais, comme partie la plus volatile, que l'alcool éthylique, qu'il s'agit d'obtenir à l'état de pureté.

Supposons un instant que nous fassions une rectification ordinaire discontinue, et que l'opération ait déjà duré 12 à 15 heures. A ce moment, le flegme de la chaudière ne contient plus que très peu de produits de tête, et l'alcool de l'éprouvette est de l'alcool surfin.

Admettons que nous possédions un grand approvisionnement du flegme ainsi *épuré* dans la chaudière, et que ce flegme épuré serve à alimenter un deuxième appareil discontinu qui soit, lui aussi, dans la période de cœur, et dont la chaudière soit assez grande pour recevoir pendant plusieurs heures cette alimentation complémentaire.

Voilà une sorte de rectification continue réalisée, et pendant toute sa durée, elle nous fournira un alcool équivalent à de l'alcool de cœur de rectification. Elle ne prendra fin que par l'encombrement de la chaudière qui nous obligera à faire « l'épuisement », afin de pra-

tiquer l'extraction de tout l'excédent d'eau et d'huiles.

Remplaçons maintenant la chaudière unique par une série de chaudières étagées, c'est-à-dire par une colonne à plateaux, tout comme la colonne à plateaux a été substituée à la chaudière de l'alambic. Grâce à ce sectionnement, nous pourrons introduire d'une manière continue le flegme épuré sur le plateau du haut, et faire sortir, également d'une manière continue, par le soubassement, les eaux résiduaires épuisées.

La partie supérieure de l'appareil n'en continuera pas moins à nous fournir de l'alcool *de cœur*, tout comme dans l'hypothèse précédente.

Quant au flegme épuré, produisons-le avec un épurateur continu, au lieu de l'obtenir dans une chaudière de rectificateur, et l'on voit que la continuité absolue de la rectification se trouve réalisée.

Examinons toutefois ce que deviennent les huiles amyliques ou produits de queue.

Dans un *discontinu* les produits de queue tendent perpétuellement à monter dans les plateaux, M. Duclaux a montré que ces produits, quoique moins volatils que l'eau, quand ils sont anhydres, présentent une anomalie singulière quand ils sont mélangés à l'eau. Dans ce cas, en effet, ils distillent avant l'eau elle-même, et un mélange de 5 0/0 d'alcool butylique, ou d'alcool amylique avec l'eau est plus vite épuisé à l'alambic que ne le serait un vin à 5 0/0 d'alcool éthylique.

Donc, l'obligation où nous sommes d'épuiser complètement les eaux résiduaires en alcool éthylique nous conduit nécessairement à produire en même temps l'épuisement total en produits de queue. Par conséquent, la sortie du bas de l'appareil ne donne issue qu'à de l'eau complètement privée d'alcool et *de produits de queue*.

On voit donc ce qui va se produire : l'alimentation continue du flegme apporte sans cesse de nouvelles proportions de fusel (huiles amyliques), et comme il n'en sort point avec les vinasses, il va se former une accumulation de ces impuretés, et la qualité de l'alcool s'en ressentira.

L'accumulation s'opère en effet sur certains plateaux inférieurs d'épuisement.

Pour y remédier, il suffit de pratiquer une extraction continue sur l'un de ces plateaux, et de recueillir le liquide impur à une éprouvette spéciale. Si l'on soutire ainsi une quantité d'huiles qui corresponde au volume d'impuretés de queue qu'apporte l'alimentation continue du flegme, on comprend que, la sortie balançant l'entrée, l'accumulation devient impossible, et l'appareil fonctionne exactement comme les discontinus, dans lesquels la proportion du fusel est limitée.

C'est le goût de l'alcool obtenu à l'éprouvette qui montre si l'extraction d'huiles est suffisante ; la proportion de cette extraction dépend essentiellement de la qualité du flegme, et l'on voit sans peine que l'on a un moyen facile d'améliorer la qualité de l'alcool en extrayant de fortes proportions d'huiles.

Il en est de même pour l'épuration en éthers ; plus on pratique une large extraction de produits de tête à l'épurateur, et plus l'alcool est fin.

Dans la plus part des usines, on règle l'extraction des éthers à environ 5 0/0 et l'extraction des huiles amyliques à 2 ou 3 0/0 de l'alcol à 100° qui entre dans l'appareil. Dans ces conditions l'on a environ 91 à 92 % de *bon goût*.

On voit par là à quel point est net le sectionnement en trois lots, suivant ce que nous expliquions plus haut.

L'extraction continue des huiles remplit un second rôle très important : c'est elle qui règle la conduite du rectificateur continu comme alimentation en flegmes.

Il faut en effet que l'entrée des flegmes apporte exactement autant d'alcool qu'il en sort par les diverses éprouvettes, afin que l'appareil conserve une allure invariable.

Si l'alimentation est insuffisante, on s'en aperçoit au degré alcoolique des huiles qui s'affaiblit. S'il augmente, au contraire, on a la preuve que l'alimentation est exagérée, et si l'on n'y prenait garde, on pourrait avoir des pertes d'alcool faute d'un épuisement complet des vinasses.

L'ouvrier trouve facilement l'ouverture du robinet d'alimentation qui convient pour avoir un degré

alcoolique constant à l'éprouvette des huiles, c'est-à-dire pour donner à l'appareil un régime permanent invariable. C'est une surveillance identique à celle des colonnes distillatoires continues.

Ceci étant bien compris, quelques mots nous suffiront pour compléter l'explication de l'appareil.

Les huiles sont refroidies en D et coulent à l'éprouvette T.

Les vapeurs alcooliques s'enrichissent et se purifient dans les tronçons de rectification G, grâce à la rétrogradation du condenseur H. L'excès de vapeur passe au réfrigérant K puis à l'éprouvette R.

N N sont les régulateurs de vapeur.

Enfin une autre éprouvette S, alimentée par les vapeurs qui se dégagent des vinasses contenues dans le soubassement et viennent se condenser dans le petit réfrigérant E, donne, d'une façon certaine, l'épreuve de l'épuisement, l'alcoomètre devant toujours y marquer 0°.

Les eaux résiduaires bouillantes sortant de l'appareil passent au récupérateur R où elles échauffent le flegme qui va alimenter le récupérateur.

Telle est dans ses grandes lignes la rectification continue, et la première solution imaginée par l'auteur. Depuis, M. Barbet y a introduit de nombreuses améliorations de détails ayant surtout pour but d'obtenir la régularité absolue d'alimentation et de coulage, telles que la disposition de réglage invariable du coulage et surtout la *Pasteurisation* que l'on voit aussi indiquées en P sur le dessin (fig. 34). Ce dernier procédé constituant à lui seul une *nouvelle méthode de fractionnement continu* susceptible de nombreuses applications, nous lui consacrerons un paragraphe spécial.

(**135**) *La Pasteurisation.*

Nous avons étudié (**128**) l'effet du barbotage d'une vapeur très volatile dans un liquide moins volatil qu'elle. Nous avons conclu que les vapeurs traversent le liquide plus pauvre sans s'enrichir ni s'appauvrir, c'est-à-dire sans rien céder à ce liquide, et comme s'il

n'existait pas. Cette démonstration va trouver ici son application aux vapeurs aldéhydiques et éthériques traversant un liquide alcoolique à haut degré comme celui qui existe au haut du rectificateur continu.

Supposons un rectificateur continu que l'on aurait privé de l'épuration continu préalable. On obtiendra à l'éprouvette non plus l'alcool pur, mais l'alcool mélangé de toute la proportion de produits de tête que contenaient les flegmes.

D'après ce que nous avons dit plus haut (**129**), si l'alcool de l'éprouvette contient des impuretés de tête, le liquide de la rétrogradation en contient aussi et dans une proportion presque identique.

Or, ce liquide complexe rentre dans la colonne à plateaux, et ces plateaux constituent comme de petits alambics locaux où le liquide est soumis à une violente ébullition.

Nous pouvons prédire immédiatement ce qui va se passer. La loi de la distillation des liquides complexes nous dit en effet que lorsqu'on fait bouillir un mélange de produits inégalement volatils, les premières vapeurs sont beaucoup plus chargées des substances les plus volatiles que le liquide qui les engendre, et le liquide bouillant s'en trouve bientôt débarrassé ou épuisé.

Notre rétrogradation était un mélange d'alcool avec une petite proportion de produits de tête ; puisque l'ébullition expulse les produits les plus volatils, le liquide qui reste sur les plateaux au bout de quelques instants n'est plus que de l'alcool beaucoup plus pur que la rétrogradation, c'est-à-dire bien plus pur que l'alcool de l'éprouvette.

Il est vrai qu'il arrive continuellement, par le fait même de l'alimentation ininterrompue de l'appareil en flegmes impurs, une certaine quantité de vapeurs aldéhydiques qui souillent la vapeur alcoolique ascendante. Mais, comme nous venons de le rappeler en débutant, ces impuretés très volatiles ne peuvent être arrêtées, et traversent le liquide des plateaux comme si ce liquide n'existait pas.

Donc, si le liquide des plateaux est épuré à fond, comme nous l'avons prouvé, il restera pur, et il suffira d'en faire une extraction continue pour avoir un

alcool particulièrement doux et pur aux réactifs chimiques.

L'ancienne théorie dirait que cet alcool doit être souillé de produits de queue, le condenseur étant considéré comme un analyseur qui fait rentrer dans l'appareil les vapeurs aqueuses et amyliques. Mais nous avons fait justice de ces erreurs au paragraphe (**129**) où l'on a vu que la différence du degré alcoolique entre le produit de l'éprouvette, la rétrogradation et le liquide du 32e plateau (sur 34), ne dépassait jamais de 0°,1 à 0°,2 au plus, c'est-à-dire une variation insignifiante. A ces hauts degrés de 96°,5 et au delà, l'alcool amylique ne peut monter avec la vapeur alcoolique ; il est retenu dans les liquides des plateaux inférieurs.

M. Barbet a donné, pour faciliter le langage, le nom d'alcool *Pasteurisé* à l'alcool extrait des plateaux supérieurs parce qu'il y a une certaine anologie avec les procédés de Pasteurisation des vins, qui consistent, comme l'on sait, à échauffer les vins pour les vieillir en même temps que pour détruire et stériliser les mauvais germes. Avec l'alcool il n'y a pas de mauvais germes, mais il y a matière à vieillissement. On peut dire que l'alcool, dûment constitué à l'état liquide dans le condenseur, est envoyé au haut de l'appareil pour subir une chauffe spéciale (comme le vin), et qu'il en sort vieilli comme par l'effet du temps. Il a en effet perdu en quelques secondes toutes les matières volatiles qui auraient mis plusieurs mois à s'évaporer par le vieillissement spontané.

Sur la figure 34 l'on aperçoit l'application de la Pasteurisation. L'extraction se fait en P, et le liquide pasteurisé, après s'être refroidi dans le réfrigérant L, vient couler à l'éprouvette Q.

A l'éprouvette R on recueille 4 à 5 % d'un liquide qui contient les traces de produits de tête qui avaient résisté à l'épurateur ; c'est une sorte de moyen goût que l'on fait rentrer immédiatement dans le flegme à épurer.

On comprendra mieux le fonctionnement de la Pasteurisation par le cliché schématique suivant, qui nous amène à parler du *règlage invariable du coulage.*

Ce dispositif a pour but de faire une extraction de tête aussi réduite que l'on peut désirer à l'éprouvette T. On voit tout d'abord que le réfrigérant F est placé sur le même plancher et à la même hauteur que le condenseur E. Le produit de tête refroidi sort par la tubulure

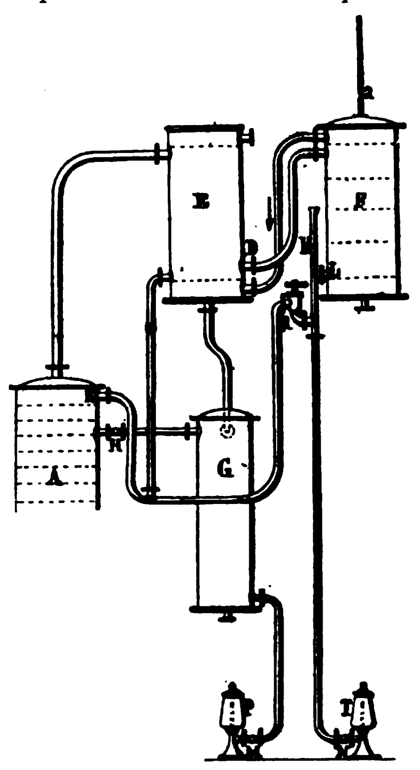


Fig. 35. — La Pastourisation et le Réglage invariable du coulage.
A, plateaux de rectification. — E, condenseur. — F, Réfrigérant. — L, Sortie de l'alcool froid. — K, trompette d'air. — T, éprouvette de l'alcool de tête. — N, robinet réglant le coulage invariable. — R, clapet de retenue laissant retourner à la rétrogradation B l'excès d'alcool de tête. — H, robinet d'extraction d'alcool pasteurisé. — G, réfrigérant du pasteurisé. — M, robinet réglant le coulage du pasteurisé. — P, éprouvette.

L, qui est munie d'un tuyau d'air K; de là il descend à l'éprouvette T, mais on interpose à l'entrée de celle-ci un robinet de réglage N, tout comme il y a un robinet de réglage M à l'éprouvette P de l'alcool pasteurisé. Enfin, sur le tuyau de descente de l'alcool, on branche un clapet de retenue R, qui est relié à la rétrogradation du condenseur E.

Ceci établi, supposons que nous fermions totalement le robinet N pendant que l'appareil est en marche; l'alcool de tête montera dans le tuyau KN, soulèvera le clapet R, se mêlera à la rétrogradation pour rentrer en B dans le rectificateur A. Sans perturbation d'aucune sorte, sans exiger plus d'eau qu'auparavant, l'appareil continuera à rectifier à la même allure, bien qu'il n'y ait plus de sortie d'alcool.

Ouvrons légèrement N pour débiter 5 % du débit primitif; ouvrons le robinet de pasteurisation H en plein, et réglons par le robinet M le débit de l'éprouvette P à 95 % du débit antérieur de l'éprouvette T. Notre appareil se trouvera tout réglé pour *pasteuriser*.

Nous pourrons de même tirer 1/3 à l'éprouvette T et 2/3 à l'éprouvette P, ou quantités égales, ou telle autre proportion qui nous plaira, sans variation appréciable du débit d'eau, ni de la pression du régulateur.

Ce système donne une très grande régularité d'allure, malgré les petites variations de niveau dans le bac à eau. En effet, si l'entrée d'eau vient à diminuer légèrement, le condensateur E donnera un peu moins de rétrogradation; mais, comme le réfrigérant F est trop fort (dans tous les appareils, il est trop fort, afin que le refroidissement de l'alcool soit assuré dans tous les cas), comme *toute* la vapeur alcoolique y est condensée, et comme le débit de l'éprouvette T *ne peut pas varier* à cause du robinet N, il faudra bien que l'excédent d'alcool rentre dans l'appareil, complétant ainsi presque mathématiquement l'insuffisance de rétrogradation de E.

Tout ce procédé, comme on le voit, repose comme toujours sur la nouvelle théorie, qui dit et qui prouve que l'analyse des vapeurs dans les condenseurs est insignifiante, et que le liquide qui va à l'éprouvette n'a pour ainsi dire aucune différence de composition avec

la rétrogradation du condenseur E. Peu importe donc que partie de la rétrogradation provienne de E, et partie du réfrigérant F.

Ce dispositif, combiné avec le régulateur à régime variable, permet en outre de modifier en marche le coulage et l'allure de la colonne, lorsqu'on veut modifier les qualités de l'alcool à produire, ou lorsque la qualité des flegmes à travailler vient à changer.

On voit donc que la *Pasteurisation* est un nouveau moyen d'expulsion des produits de tête, et même un nouveau procédé de fractionnement continu applicable à la séparation d'autres produits que l'alcool, des pétroles par exemple.

Dans une colonne continue, en marche maintenue régulière par l'alimentation, la rétrogradation et le coulage constants, chaque plateau se charge d'un liquide de composition constante, correspondant à la température d'ébullition sur ce plateau. On voit donc que l'on pourrait faire autant d'extractions sur une colonne que l'on a pu isoler de liquides purs, ou de mélanges spéciaux, sur des plateaux déterminés.

Pour donner une idée de la puissance de la pasteurisation, nous terminerons par un tableau d'analyses au permanganate, faites sur un rectificateur ordinaire, aux diverses phases d'une rectification de flegmes de mauvaise qualité :

	Alcool pasteurisé	Alcool de tête
Décoloration	1'30"	0'02"
»	3'	0'03"
»	4'45"	0'05"
»	6'	0'06"
»	7'	0'08"
»	8'45"	0'10"
»	13'30"	0'13"
»	15'	0'19"
»	17'	0'22"

Ce qui veut dire, qu'avec des produits très impurs, la pasteurisation donne un alcool soixante fois plus pur que le produit qui coule au même moment à l'éprouvette de tête.

Pour en revenir à la rectification de l'alcool, l'application de la pasteurisation permet l'extraction des

éthers sans épurateur; c'est cette disposition que M. Barbet a nommée *rectification continue simplifiée*, et dont on peut se faire une idée en considérant uniquement la partie à droite de la figure 34.

L'extraction des éthers se fait par l'éprouvette R; l'extraction de l'alcool pur ou pasteurisé, par le robinet P, le réfrigérant L et l'éprouvette Q. En S, est l'éprouvette d'épuisement; en T, celle des huiles. L'alimentation, au lieu de passer par l'épurateur, qui est supprimé, ainsi que ses accessoires, vient directement à la colonne G, à la sortie du récupérateur.

(**136**), *Epuration et Pasteurisation comparées.*

Nous voyons donc que nous avons à notre disposition deux procédés d'extraction des éthers, *l'épuration continue* et *la pasteurisation*. Quelle est leur valeur comparative?

A la dégustation, sinon à l'analyse, on trouve une différence sensible entre les alcools obtenus par les deux procédés. L'alcool *pasteurisé* conserve beaucoup plus l'odeur d'origine que l'alcool *épuré*. De sorte que la pasteurisation est tout indiquée pour la distillation des vins, fruits et rhums; tandis qu'elle ne peut suffire à elle seule pour les alcools de betteraves ou de mélasse.

Les odeurs d'origine sont des produits si subtils que l'odorat est beaucoup plus sensible que tous les réactifs pour en déceler la présence. De là vient que le permanganate lui-même ne dit plus rien. Ce qui caractérise toutes les odeurs proprement dites, c'est-à-dire les huiles végétales odorantes, c'est qu'elles sont infiniment plus solubles dans l'alcool à haut degré que dans le flegme. Tout le monde sait que les alcoolats parfumés louchissent par addition d'eau : témoin les dentifrices, l'absinthe, etc. La désodoration des alcools par le charbon de bois est basée sur cette même constatation : on ramène les flegmes à 35 ou 40° au plus, parce qu'en diminuant la solubilité des odeurs, on facilite leur absorption par le charbon. A haut degré, ce serait au contraire l'alcool qui enlèverait au charbon les odeurs qu'il pourrait avoir absorbées.

De même au rectificateur. Tant que les flegmes sont à bas degré, comme à l'épurateur, les odeurs se laissent facilement expulser, parce qu'elles sont moins solubles.

Avec la pasteurisation, il n'en va pas de même. Les odeurs, chassées des plateaux du bas, sont partiellement retenues sur les plateaux supérieurs, parce que l'excessive solubilité l'emporte sur la volatilité. Et, comme l'on extrait le liquide des plateaux, pour en constituer le bon alcool, celui-ci emporte une certaine odeur d'origine, comme nous l'avons dit plus haut.

Le mieux à faire, dans les distilleries industrielles, consiste à employer à la fois épuration et pasteurisation, comme le montre la figure 34. On arrive ainsi, sans frais sensibles comme vapeur, à une double rectification au point de vue des produits de tête, et l'on atteint une pureté d'alcool tout à fait remarquable.

(**137**) *Dépense de vapeur des rectificateurs ordinaires.*

Pour pouvoir expérimentalement établir un compte exact de la dépense de calories d'un rectificateur discontinu, il faudrait pouvoir mesurer ou peser toutes les eaux de condensation provenant des serpentins de chauffage de l'appareil, depuis la mise en route jusqu'à la fin d'une rectification. Or, comme dans toutes les bonnes installations, tout est disposé pour renvoyer immédiatement ces eaux à l'alimentation des générateurs, on ne peut prolonger cette expérience pendant 40 heures et davantage.

On se contente ordinairement de faire cet essai pendant un temps limité de la période de coulage au bon goût, et de là on déduit la dépense de vapeur à l'hectolitre pendant toute la rectification, ce qui est erroné.

La rectification comporte en effet toute une suite de phases pendant lesquelles la consommation est très variable. Puis il y a les repassages des mauvais goûts; enfin, il faut rechercher la proportion finale des bons goûts, et rapporter les calculs d'une part à ces bons goûts, et, d'autre part, au flegme mis en œuvre.

M. Barbet, dans son ouvrage sur les appareils de

distillation et de rectification ([1]) a fait tout au long, les calculs en supposant un rectificateur à plateaux perforés donnant 315 kilogrammes d'eau condensée au serpentin par hectolitre d'alcool à l'éprouvette en période de cœur. Nous y renvoyons le lecteur, et nous nous bornons à citer les résultats et conclusions :

« La dépense totale de vapeur est définitivement la suivante :

Période de chauffage jusqu'au coulage	3.476 kilos
Période de coulage.	32.248 »
Total	35.724 kilos

pour produire 70 hectolitres d'alcool bon goût. Donc la vraie dépense par hectolitre de bon alcool est de

$$\frac{35.724}{70} = 510 \text{ kil., } 35$$

non compris la dépense de vapeur pour élever l'eau destinée au condenseur. »

Telle est la dépense par rapport à l'alcool bon goût. mais il faut encore repasser les moyens goûts, ce qui est plus difficile que les flegmes ; néanmoins, et pour ne pas compliquer, nous admettrons que l'on puisse obtenir avec eux les mêmes rendements que ci-dessus, en sorte que si nous appliquons le même raisonnement au repassage des moyens goûts, nous aurons pour rendements définitifs :

Bon goût. . $70 + \frac{70}{100}(23,5 + \overline{23,5}^2 + \overline{23,5}^3 + \ldots) = 91,49$

Éthers et huiles $4 + \frac{4}{100}(23,5 + \overline{23,5}^2 + \overline{23,5}^3 + \ldots) = 5,23$

Freinte . . $2,5 + \frac{2,5}{100}(23,3 + \overline{23,5}^2 + \overline{23.5}^3 + \ldots) = 3,28$

Total 100,00

Nous avons vu que par hectolitre de bon goût on dépensait 510 kil., 35 de vapeur. Pour les 91 hect. 49 obtenus, on aura dépensé :

$$510,35 \times 91,49 = 46,692 \text{ kilos.}$$

Ce chiffre donne en même temps la dépense pour les 100 hect. d'alcool à 100° à l'état de flegmes. Donc

(1) Page 8.

par hectolitre de flegme brut à 100^v on dépense 466 kil. 92 de vapeur ou 259.140 calories.

Si pour obtenir un meilleur affinage de l'alcool on n'avait fractionné que 60 % de bon goût, la dépense de vapeur serait devenue :

$$\frac{35.724}{60} = 595 \text{ kilogrammes}$$

par hectolitre de bon goût, et le rendement définitif :

$$\text{Bon goût.} \quad 60 + \frac{60}{100}(33,5 + \overline{33,5}^2 + \overline{33,5}^3 + \ldots) = 90,24$$

$$\text{Éthers et huiles } 4 + \frac{4}{100}(33,5 + \overline{33,5}^2 + \overline{33,5}^3 + \ldots) = 6,01$$

$$\text{Freinte} \quad 2,5 + \frac{2,5}{100}(33,5 + \overline{33,5}^2 + \overline{33,5}^3 + \ldots) = 3,75$$

Total. 100,00

La dépense totale de vapeur pour les 100 hectolitres de flegme serait devenue $90,24 \times 595 = 53.693$ kilogrammes, ou pour hectolitre d'alcool à 100^v contenu dans le flegme 536 kil., 93 = environ 70 kilogrammes de charbon.

L'exemple de calcul ci-dessus se rapporte à un rectificateur à 30 plateaux perforés. D'après M. Sorel [1], dans les appareils Savalle du dernier modèle, la dépense totale par hectolitre d'alcool extra-fin recueilli s'élève à 63 kilogrammes de houille ; il convient d'ajouter pour rendre les chiffres comparables aux précédents qu'il y a à déduire 7 kilogrammes pour le service des pompes, reste donc 56 kilogrammes pour la vaporisation et l'affinage.

Or, dans une distillerie où l'on a assez d'eaux d'échappements et d'eaux provenant des condenseurs pour alimenter chaud, les générateurs produisent au moins 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, par conséquent la dépense de vapeur serait $56 \times 8 = 448$ kilogrammes par hectolitre.

(1) « Le traitement successif des *moyens goûts* élève donc la « dépense réelle à $42 \times 1,51 = 63$ kilogrammes de houille par hec- « tolitre d'alcool extra-fin recueilli. Ce chiffre théorique est parfai- « tement d'accord avec les résultats pratiques qui m'ont été com- « muniqués de divers côtés ». — E. Sorel, loc. cit., page 233, Société d'Encouragement.

Maercker ne nous donne aucun renseignement sur les dépenses de vapeur des rectificateurs français ou allemands. Nous aurions pourtant été fort heureux d'avoir ces renseignements, en particulier pour l'appareil d'Heckmann, qui « *peut fonctionner sans régulateur de vapeur, sa marche étant très régulière par suite de la suppression des plateaux perforés* (1) ».

Pour terminer, voyons comment on devra calculer la puissance d'un appareil devant rectifier journellement 100 hectos d'alcool à 100° comptés en flegmes provenant de la distillerie. Pour faire des extra-fins à l'extraction de 60 % que nous avons vue ci-dessus, à cause des 33,5 % de repassages successifs, il faudra travailler journellement :

$$100 + \frac{1}{100}(33{,}5 + \overline{33{,}5}^2 + \overline{33{,}5}^3 + \ldots) = 160^{h},4$$

de flegmes et moyens goûts rentrant au rectificateur.

En outre, entre une rectification et la suivante, il y a une perte de temps pour la vidange et le nettoyage de la colonne et de la chaudière, le chargement et la mise en route, perte de temps qui représente de 4 à 6 % du temps de coulage. Il faut donc, en dehors du rectificateur à repasser les mauvais goûts, installer un ou deux rectificateurs dont le coulage horaire soit au total d'environ 700 litres.

(138) *Dépense de vapeur des rectificateurs continus.*

Citons d'abord des expériences précises qui ont été faites par M. E. Barbet, chez M. Dantu-Dambricourt, à Steene, le 3 juin 1890, avec la colloboration de M. Barbion son intelligent directeur.

« L'appareil Continu installé à Steene présente ceci de particulier que l'épurateur a le double de la puissance du rectificateur continu proprement dit. L'épurateur travaille 200 hectolitres de flegmes à 100° par 24 heures, et fournit moitié de cette production au rectificateur continu et moitié aux autres rectificateurs or-

(1) Maercker, loc. cit., t. II, p. 412.

dinaires que possède l'usine. Nous reviendrons un peu plus loin sur les avantages spéciaux de ce mode de travail.

« Le rectificateur continu est un n° 9, donné pour un travail journalier de 95 à 100 hectolitres d'alcool à 100° à l'état de flegmes bruts. Disons en passant que l'appareil fait plus qu'il n'a été promis ; l'expérience que nous allons relater prouve que l'appareil correspond à 106-107 hectolitres à 100° par 24 heures. Ajoutons enfin, que l'appareil est muni des perfectionnements dits « de Pasteurisation » et qu'il produit simultanément deux qualités d'alcool. L'alcool pasteurisé est d'une pureté très remarquable, car à la sortie même de l'éprouvette il décolore le permanganate en 35 minutes ; c'est en quelque sorte un alcool de cœur de rectification. L'autre alcool non-pasteurisé décolore en 7 minutes ; c'est un excellent extra-fin, obtenant une prime très importante par rapport à l'alcool marchand ordinaire.

« Voici comment s'est faite l'expérience : A la sortie des vinasses est disposé un robinet à 3 eaux ; normalement ce robinet envoie les vinasses épuisées à l'égout. Mais il suffit de tourner ce robinet de 90° pour envoyer les vinasses dans une citerne spéciale jaugée, qui est une citerne de secours pour le cas où un accident quelconque aurait provoqué un épuisement incomplet des vinasses en alcool. Grâce à ce montage l'expérimentation de la dépense de vapeur est extrêmement commode. A un moment donné, l'on remarque sur le tube de verre du soubassement de l'appareil le niveau intérieur de la vinasse en ébullition ; on s'arrangera pour qu'en fin d'expérience la hauteur dans le tube soit exactement la même. On regarde l'heure et l'on tourne le robinet de vidange dans la citerne à petites eaux dont le niveau a été préalablement relevé.

« Ensuite on va relever successivement les niveaux aux bacs à flegmes épurés, aux alcools pasteurisé et non pasteurisé et enfin au bac aux huiles amyliques. Pour chaque bac on note l'heure afin de tout rapporter à 60 minutes de coulage, car les relevés successifs des niveaux prennent un certain temps.

« Dans l'expérience que nous relatons, les vinasses ont

été recueillies pendant 1 heure 55 minutes et 30 secondes. Grâce au récupérateur de chaleur, les vinasses ne sortent guère qu'à 60ᶜ, de sorte qu'elles ne donnent presque pas de déperdition de poids par émission de vapeur. Nous rappellerons d'ailleurs que la vapeur du barboteur amène avec elle une certaine proportion d'eau vésiculaire ; il y a plus que compensation, et bien que nous n'ayons pas été à même d'apprécier la proportion des entraînements vésiculaires, on comprend *a priori* qu'elle doit être assez importante puisque la vapeur est laminée dans le papillon du régulateur, c'est-à-dire qu'elle subit une détente, un refroidissement, ou en somme une condensation partielle.

« Le volume reconnu des vinasses pendant la durée du coulage a été de 2.783 litres. Le poids du litre à 60ᶜ de température est environ de 0 kil., 980.

$$2783 \times 0{,}98 = 2727 \text{ kilos pour } 115' \, 1/2, \text{ soit } 1416 \text{ kilos à l'heure.}$$

« Il ne faut pas oublier que dans ce poids est comprise l'eau apportée par le flegme d'alimentation.

« L'ensemble des alcools pasteurisé et non-pasteurisé a donné un coulage total de 416 litres d'alcool à 96ᵛ à l'heure. Comme confirmation de ce résultat, on a repris les niveaux dans les mêmes baçs le lendemain matin au bout de 12 heures de coulage supplémentaire ; le coulage horaire pour ces 12 heures a été reconnu à 413 litres, ce qui prouve que l'expérience avait été faite avec une très grande précision.

« Enfin les huiles avaient coulé à raison de 26 lit., 8 à l'heure à 62ᵛ, soit 16 lit., 6 d'alcool à 100° à l'heure, ce qui fait une extraction proportionnelle de 4 lit., 0 par 100 litres à 100° entrant dans l'appareil.

« Le flegme épuré marquait 41ᵛ,3 à 15ᶜ, soit 34 kil., 5 d'alcool pour 100 kilogrammes de flegmes.

« L'introduction de flegmes a été exactement de 10 hectolitres 07, et comme la densité est de 0,950 cela représente 956 kilogrammes de flegmes.

$$956 \times \frac{34{,}5}{100} = 330 \text{ kilos d'alcool.}$$

$$956 \times \frac{65{,}5}{100} = 626 \text{ kilos d'eau.}$$

« Ramenons tout en poids.

« L'alcool à 96° a une densité de 0,8128,

416 lit. × 0,8128 = 338 kilos.

« Les huiles à 62° ont une densité de 0,91.

26 lit.,8 = 0,91 = 24 k.,38.

« Le poids total des sorties de l'appareil est de :

Vinasses.	1.416 k.
Alcool rectifié à 96°	338 »
Huiles amyliques à 62°	24,38
Total . . .	1.778,38
L'entrée des flegmes était de. . . .	956 »
La différence est due à la vapeur . =	822,38

« La quantité totale de l'alcool à 100° entrée dans l'appareil a été de :

416 lit. × 96° =.	399 lit.,5 à 100°
Huiles	16 , 6 »
Total . . .	416 lit.,1 à 100°

$$\frac{822 \times 100}{416} = 197 \text{ k.},6.$$

de vapeur par hectolitre de flegme épuré à 100° ».

Si, comme précédemment, nous estimons la vaporisation aux générateurs à 8 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, on voit que le rectificateur continu ne dépense au total que 24 kil., 7 de charbon par hectolitre d'alcool à 100° compté dans les flegmes. C'est plus de moitié d'économie sur les chiffres que nous avons trouvés ou cités plus haut pour les discontinus.

L'économie de vapeur provient surtout de trois causes : suppression des périodes de mauvais et moyens goûts pendant lesquelles les discontinus dépensent de la vapeur en pure perte ; suppression du repassage des moyens goûts et récupération de la chaleur des vinasses pour échauffer les flegmes. En effet, le récupérateur de chaleur peut facilement échauffer les flegmes jusqu'à ébullition, ainsi que nous allons le prouver. Transformons d'abord tous les volumes en poids.

Le flegme à 50° contient 42,5 d'alcool pour 100 ki-

logrammes de liquide. Donc pour produire 100 kilogrammes d'alcool à 100° il faut :

$100 \times \frac{100}{42,5} = 235$ k. de flegmes, qui se composent de 100 k. d'alcool et 135 k. d'eau.

Comme nous employons environ 200 kilogrammes de vapeur de barbotage par hectolitre d'alcool à 100°, par 100 kilogrammes d'alcool nous emploierons :

$290 \times \frac{1}{0,813} = 246.$, 0 k.,813 étant le poids du litre d'alcool à zéro.

Les vinasses se composeront donc de :

Condensation de la vapeur de chauffage. . . .	246 k.
Poids d'eau apporté par le flegme (moins 4 % d'eau dans l'alcool rectifié et 3 % dans les huiles)	128 »
Total	374 k.

La chaleur spécifique des vinasses est de 1,01 ; donc chaque degré que perdront les vinasses au profit des flegmes produira :

$$347 \times 1,01 = 377,7 \text{ calories.}$$

D'autre part, les flegmes sont en moyenne à 15° avant leur entrée dans l'appareil ; leur point d'ébullition est 83°. Il faut donc leur fournir 83 — 15 = 68°.

La chaleur spécifique du flegme à 50° est :

$$C = 0,990 + 0,0027\,t = 1,10$$
$$235 \text{ k.} \times 1,10 \times 68^t = 17.578 \text{ calories.}$$

Pour fournir ces calories, la température des vinasses s'abaissera de :

$$\frac{17.578}{377,7} = 46^t,5.$$

Les vinasses sortant du bas de l'appareil à 102°, après le récupérateur elles auront encore :

$$102 - 46,5 = 55^t,5.$$

On voit donc que l'emploi du récupérateur au continu économise tout d'abord la vapeur de chauffage des flegmes avant coulage de la rectification ordinaire, et récupère en outre plus de la moitié des chaleurs

des vinasses perdues à la vidange de la chaudière. Remarquons en passant que cette chaudière n'existant plus au continu n'est plus une cause de pertes par rayonnement, ou que si l'on veut appliquer cette perte aux tronçons d'épuisement qui ici remplacent l'ancienne chaudière, elle devient négligeable par comparaison des surfaces.

Dans ces dépenses de chaleur du rectificateur continu complet, nous pouvons faire la part de l'épurateur et celle de la pasteurisation.

(139) *Dépenses afférentes à l'épuration et à la pasteurisation.*

Pour l'épurateur, supposons qu'on concentre les éthers à 95^v, ce qui est le maximum en pratique, et par suite le maximum de dépense. En répétant le calcul des dépenses que nous avons établi pour la rétrogradation (132), mais pour un rectificateur produisant seulement 95^v, au lieu de 96^v,5, M. Barbet a trouvé pratiquement qu'il faut 70.053 calories par hectolitre, le flegme étant introduit bouillant ; pour un fractionnement de 5 % la dépense de l'épurateur sera donc :

$$70.053 \times \frac{5}{100} = 3.502 \text{ cal, ou } \frac{3.502}{599,5} = 5 \text{ kil. } 84$$

de vapeur par hectolitre d'alcool à 100° introduit dans l'appareil. Dépense insignifiante et confirmée par la pratique.

Pour la Pasteurisation, il y a deux petites causes de dépense supplémentaire de vapeur. D'une part les 5 % de moyens goûts de tête sont renvoyés à l'épurateur ; la dépense d'ensemble est donc majorée de 5 %.

En second lieu, il se produit un certain refroidissement supplémentaire de la rétrogradation. Il suffit donc de prendre la température de cette dernière en plaçant un thermomètre à la sortie du condenseur E (fig. 35), puis, par un autre thermomètre placé avant l'entrée dans la colonne en B, sa température après qu'elle a reçu le liquide froid du réfrigérant F. En

(1) E. Barbet, loc. cit. page 18.

opérant ainsi sur un rectificateur continu simplifié, sans épurateur, nous avons trouvé les températures de 75ᶜ et 66ᶜ,8 ce qui correspond à un abaissement de température de 8°,2 dû à la pasteurisation. Or, comme nous l'avons vu (**132**) pour 100 kilogrammes de coulage au continu, il y a environ 650 kilogrammes de rétrogradation, pour retrouver cette différence 8ᶜ,2, il nous faudra donc dépenser :

$$650 \times 0.910 \times 8,2 = 4.841 \text{ cal., ou } \frac{4.841}{599,5} = 8^{k},07$$

de vapeur par 100 kilogrammes d'alcool à 100ᵛ au coulage ou 5 kil. 92 par hectolitre, chiffre sensiblement égal à la dépense de l'épurateur. En somme la pasteurisation augmente la dépense de vapeur d'environ 16 kilogrammes à l'hectolitre.

(**140**) *Epurateur continu employé isolément.*

L'épurateur a été installé isolément dans un certain nombre d'usines. Dans ce cas, l'épurateur se rajoute entre les colonnes à distiller et les rectificateurs. Quelle que soit l'importance de l'usine, il suffit d'un seul appareil pour épurer la production journalière totale de toutes les colonnes. Les rectificateurs sont chargés avec des flegmes épurés, privés de produits de tête; aussi la qualité de l'alcool est-elle considérablement améliorée, car tout le monde sait que pour atteindre à de grandes puretés, il faut partir de très bons flegmes.

On ajoute à l'épurateur un récupérateur, mais il a beaucoup moins de puissance de transmission, à la fois parce que le volume des flegmes épurés est presque égal (plutôt un peu inférieur) à celui des flegmes bruts, et parce que leur température n'est que de 83ᶜ; il est pratiquement difficile d'échauffer les flegmes bruts au delà de 60 à 65ᶜ. Mettons 63ᶜ en moyenne. Il restera encore 20ᶜ à fournir.

Par hectolitre d'alcool à 100ᵛ, nous aurons 187 kilogrammes de flegmes à 50ᵛ et il faudra leur fournir :

$$187 \times 1,10 \times 20 = 4.114 \text{ calories,}$$

qui ajoutées aux 3.502 calories, que nous venons de trouver pour l'épurateur alimentant le continu, et dans

les mêmes conditions d'une extraction de 5 % de têtes, au degré de 95°, donnent un total de :

$$4.114 + 3.502 = 7.616 \text{ calories, ou } \frac{7.616}{599,5} = 12 \text{ k.,87 de vapeur.}$$

Ce chiffre peut être considéré comme un maximum, car pour un appareil bien réglé, cette dépense n'est pas atteinte en pratique.

L'adjonction de l'épurateur aux rectificateurs ordinaires outre l'amélioration de la qualité de l'alcool, procure un autre avantage considérable. Par cette extraction préalable des éthers, la quantité de flegmes à envoyer aux rectificateurs est diminuée, la période ordinairement si longue du coulage des moyens goûts de tête est réduite dans une grande proportion. L'appareil rend davantage du premier coup, et de plus il n'est plus encombré par le repassage des moyens goûts, d'où résultent : une augmentation possible de la production de l'usine en alcool rectifié, et une diminution de la dépense de vapeur par hectolitre. Cette économie va de 20 à 30 % à qualité égale d'alcool produit.

(141) *Comparaison et critique des rectifications continue et discontinue.*

Ce que nous avons vu des dépenses de vapeur des deux systèmes, donne sans contredit l'avantage au rectificateur continu qui procure une économie minimum de 50 % de combustible ; aussi, ne ferons-nous que rappeler rapidement ses autres avantages qui ressortent des faits que nous avons exposés, tels : la production proportionnelle plus forte de l'alcool bon goût, facilité de varier le débit et la qualité suivant les besoins, suppression des chaudières et de leurs dangers, suppression des bacs d'attente des flegmes et des bacs à moyens goûts, etc. Nous ne nous occuperons que des points que nous n'avons pas encore abordés : la freinte et la facilité de conduite des appareils.

Chaque fois que l'on fait une rectification, on constate une perte d'alcool qu'on appelle *freinte*. Ce terme ne s'applique qu'aux pertes que l'on ne peut justifier par aucun accident, ni par le contrôle des ins-

truments de mesure, pertes que l'on ne peut évaluer que par les différences comptables de l'entrée et de la sortie d'alcool dans un rectificateur.

De cette freinte, une partie est due à l'air renfermé dans l'appareil au moment de la mise en route, air qui ne s'échappe que saturé de vapeurs d'alcool.

La principale origine de ces freintes a été pour la première fois indiquée par D. Savalle (1) qui a constaté : « ... formation des éthers et des carbures aux dépens de l'alcool à l'intérieur de l'appareil... », remarque contrôlée depuis par M. Barbet qui a reconnu que la principale cause de la freinte était due au contact direct des flegmes avec les serpentins de chauffage, et que pour un même appareil la freinte est d'autant plus forte que le produit à rectifier est moins pur. Tandis que dans un rectificateur continu, ou la vinasse épuisée vient seule en contact avec la vapeur de barbotage, la freinte reste inférieure à 1/2 % avec des flegmes courants.

Comparons maintenant les deux systèmes au point de vue de la facilité de conduite des appareils. Si l'on s'en tient à un examen sommaire des deux rectificateurs des figures 31 et 34 par exemple, l'avantage de la simplicité reste sans conteste au discontinu, et l'on reproche à la rectification continue d'être très difficile à conduire.

Dans le discontinu en effet, le régulateur de vapeur étant réglé une fois pour toutes, une rectification entière peut se conduire par la manœuvre d'un seul robinet, celui qui fournit l'eau au condenseur ; dans le continu au contraire il faut régler deux régulateurs, deux robinets d'eau aux condenseurs, l'eau des réfrigérants auxiliaires, l'alimentation et les robinets réglant le coulage des 5 éprouvettes.

Cela est très vrai, disons-le tout de suite, et la première mise en route d'un continu est une opération un peu plus délicate que celle d'un appareil ordinaire ; mais une fois le réglage de l'appareil bien établi, l'avantage de la simplicité revient encore au continu, car avec le soin de ramener les flegmes à un degré constant, la régularité de l'appareil est telle que l'ouvrier

(1) D. Savalle. — *La Rectification*, p. 3, éditions 1883 et 1888.

peut rester des journées entières sans manœuvrer un seul robinet.

Dans le discontinu en revanche, la manœuvre du robinet unique est incessante, non seulement pour les chargements, les vidanges et nettoyages, mais encore suivant la dégustation.

L'appréciation des fractionnements est laissée au plus ou moins de goût d'un ouvrier, parfois inattentif ou enrhumé. Le distillateur même le plus attentif est souvent exposé à des erreurs de fractionnements qui entraînent à des repassages onéreux.

On peut il est vrai s'aider des méthodes d'analyse, et surtout de la méthode au permanganate, assez simple pour être employée par tout ouvrier soigneux sans connaissances chimiques spéciales. Mais on le sait, ces méthodes qui sont des indicateurs sensibles ne suppléent pourtant pas à la dégustation.

Pour la rectification continue au contraire, une fois le réglage de l'appareil établi par le chef d'usine lui-même, pour la qualité d'alcool qu'il désire, les qualités d'alcool coulant à chaque éprouvette ne varieront plus tant que la qualité du flegme restera la même, et le rôle de l'ouvrier se borne à surveiller si les pompes fonctionnent bien, si les niveaux des bacs à eau et à flegmes sont réguliers, et si les degrés des divers alcoomètres ne varient pas aux éprouvettes. Toute variation indiquerait un accident auquel on a d'ailleurs le temps de remédier facilement.

Les modifications d'allure de l'appareil pendant la marche sont d'ailleurs assez simples, et le réglage de première mise en route n'est pas si difficile qu'il ne puisse être confié à un ouvrier intelligent et comprenant bien son appareil, nous en avons eu maintes fois la preuve par les monteurs. Il suffit d'avoir assisté à une de ces mises en route pour savoir la diriger pour n'importe quel autre rectificateur. Le chef d'usine peut donc ainsi rester le maître absolu de son appareil et de la qualité de l'alcool, modifier rapidement et sans arrêts cette qualité, si les nécessités des cours lui procurent un avantage, ce qu'il ne saurait faire aussi complètement avec les rectificateurs ordinaires.

Ici encore l'avantage revient donc au rectificateur continu.

Pour en terminer avec les rectificateurs, nous dirons quelques mots des appareils de laboratoire. La *Revue de Chimie Industrielle* de décembre 1892 a donné les renseignements comparatifs que voici sur les appareils de laboratoire existant antérieurement.

	Titre maximum obtenu
Appareil Claudon et Morin	94°1
» Le Bel et Henninger à 15 boules	94,1
» Savalle	92,5
» Winssinger	88,0

Auxquels nous ajouterons :

Appareil Sorel (1)	94°
» Barbet (2).	96,9

Ce dernier appareil, construit suivant les principes que nous avons exposés dans les pages précédentes, a pu, malgré ses petites dimensions, permettre d'obtenir au laboratoire les mêmes résultats que dans les plus grands appareils industriels, tant pour le degré de l'alcool obtenu que pour la purification des produits, et cela qu'on le fasse fonctionner en continu ou en discontinu, car il se prête aux deux combinaisons.

Donc, les résultats comparatifs ci-dessus sont une confirmation absolue des théories que nous avons adoptées, théories qui concordent avec la pratique, aussi bien pour un rectificateur de laboratoire donnant un demi-litre de coulage à l'heure, que pour les gros appareils qui donnent pendant le même temps une production mille fois plus grande.

(142) *Colonnes à distiller à haut degré.*

Les colonnes à distiller à haut degré ont eu surtout pour but l'obtention de flegmes très concentrés, ce qui procure une économie considérable de transports lorsque la rectification n'est pas faite sur place, à la distillerie même. Elles ont pris une grande extension en Allemagne, précisément parce que le raffinage des alcools est dans ce pays une industrie tout à fait distincte de la distillerie agricole.

(1) E. Sorel, loc. cit., page 239.
(2) *L'Alcool et le Sucre*, janvier 1893.

Nous prendrons pour type de ces appareils la colonne Egrot à haut degré que représente la figure 36. Le vin froid d'alimentation vient du réservoir supérieur, se réchauffe dans le condenseur-chauffe-vin, et entre dans la colonne sur le plateau supérieur des tronçons d'épuisement. Par suite de la disposition spéciale de ces plateaux que, nous avons vue (**125**), la partie basse de la colonne est beaucoup plus grosse que la partie supérieure où l'alcool se concentre, grâce à la rétrogradation qui vient du condenseur chauffe-vin.

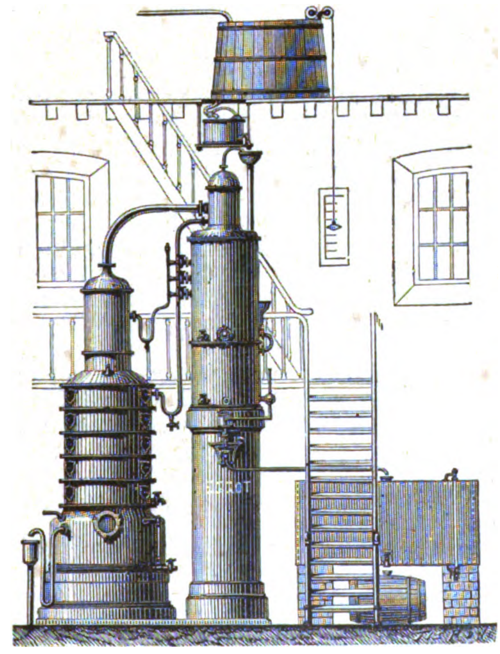


Fig. 36. — Appareil de distillation continue système Egrot.

Dans le haut de la colonne, tout tend donc à se passer comme dans les plateaux d'un rectificateur, et en particulier d'un rectificateur continu, et ce que nous avons dit de l'enrichissement des vapeurs par la rétro-

gradation nous dispense de refaire cette théorie qui est la même dans les deux cas.

Remarquons cependant que dans ces colonnes à haut degré il n'y a qu'une éprouvette pour la sortie de l'alcool; il ne peut donc y avoir épuration. En effet, si les vinasses sont bien épuisées, il faut que toutes les impuretés volatiles accompagnent l'alcool à l'éprouvette; le fusel ne pourrait sortir par le bas avec les vinasses, que si l'épuisement n'était pas complet, ainsi que nous l'avons démontré à propos de la rectification continue.

Aussi dans ces colonnes il est inutile de chercher à atteindre les degrés si élevés que l'on cherche en rectification; il suffit d'atteindre 91 à 92ᵛ.

Les flegmes à haut degré ainsi produits, n'ont pas l'odeur aussi forte que les flegmes produits avec le même vin par une colonne à bas degré, mais il n'y a pas pour cela une purification réelle et profitable pour la rectification ultérieure.

La différence d'odeur tient surtout à ceci, c'est que le flegme à haut degré contient moins d'acides gras libres; les acides volatils, en présence de l'alcool bouillant et à haut degré, ont en partie formé des éthers, d'odeur plus ou moins agréable, qui masquent les odeurs fortes et nauséabondes des produits de queue. Il faut aussi constater que quelques-uns de ceux-ci, parmi les plus lourds et les plus odorants, sont restés dans la vinasse. Ces odeurs fortes reparaissent en grande partie lorsque, pour la dégustation on coupe ces alcools forts avec de l'eau.

(**143**) *Dépense de vapeur des colonnes à haut degré*

Il semble à priori qu'une colonne à haut degré, par le seul fait qu'elle opère une concentration, doive coûter beaucoup plus de vapeur qu'une colonne à bas degré.

Pourtant si l'on veut bien y réfléchir un peu, et si l'on a bien compris la démonstration que nous avons faite (**125**) en comparant les colonnes continues aux alambics simples, on reconnaîtra assez vite que, dans

certains cas, la colonne à haut degré doit être plus économique que les autres.

Nous avons dit ceci à propros de la multiplication du nombre des plateaux des colonnes à bas degré : « La limite de la dépense d'une colonne est égale à la quantité de calories emportées par le flegme en vapeurs. On aura beau augmenter le nombre des plateaux, on ne diminuera pas la dépense de vapeur, à moins que l'on ne réussisse à diminuer la chaleur emportée par le flegme. Il n'y a qu'un moyen pour cela, c'est d'augmenter le degré alcoolique du flegme. »

Seulement l'on n'augmente le degré du flegme que par une rétrogradation, c'est-à-dire par la condensation partielle des vapeurs.

Snpposons une colonne à récupérateur ; la condensation sera faite par un tubulaire à eau, et le liquide ramené sur les plateaux devra être réévaporé à nouveau. Il y a là une perte de calorique inévitable.

Calculons si, malgré ce déchet, il n'y aura pas néanmoins avantage à faire distiller le flegme à très haut degré.

Les très hauts degrés, 96°,5 par exemple, exigent pratiquement une rétrogradation d'environ 7 volumes pour un seul qui coule à l'éprouvette, d'après M. Barbet (1), et pour obtenir 95°, on ne trouve plus que 2,2 volumes de rétrogradation pour un de coulage (2).

On trouverait de même qu'avec un appareil convenablement construit on peut atteindre environ 94° avec une rétrogradation réduite à un pour un.

Partons de cette donnée :

1 kilo de flegmes en vapeurs à 94°, à refroidir de 79 à 15°, emporte une chaleur totale :

$$Q = 238 + 0,783 \, (79^{\circ} - 15^{\circ}) = 288 \text{ calories.}$$

Supposons que la rétrogradation ait été également refroidie ; sa réévaporation exigera encore une fois 288 calories. Donc la dépense de notre appareil sera en fin de compte de $288 \times 2 = 576$ calories par kilo d'alcool à 94° coulant à l'éprouvette.

---

(1) Appareils de distillation, page 16.
(2) » » page 18.

Mettons les plateaux de concentration de l'alcool au dessus d'une colonne à bas degré, donnant des vapeurs alcooliques à environ 50^v. Voyons si ces vapeurs contiendront en elles-mêmes assez de calorique pour fournir largement les 576 calories exigées par notre concentration, ou bien s'il faudra un supplément à emprunter aux générateurs, sous forme d'un chauffage plus fort au bas de la colonne.

$$94^v = 91^p \text{ (degrés pondéraux).}$$

Donc 1 kilo d'alcool à 94^v = 0 k, 910 alcool pur, et 50^v correspondent à 43^p.

Le poids de flegme à 43 p, qui contient 0 k, 910 d'alcool pur est égal à

$$0{,}910 \times \frac{100}{43} = 2 \text{ k., } 116.$$

La chaleur latente du flegme à 50^p, est égale à 394.

$$394 \times 2 \text{k.,}116 = 833 \text{ cal.,}7.$$

Il y a donc bien plus de chaleur disponible qu'il n'en faut, et la rétrogradation pourrait atteindre jusqu'à deux volumes pour un de coulage.

Ceci posé, nous allons à titre d'exemple, calculer tout au long la dépense des colonnes à hauts degrés, en partant du même vin à 8^v,5 qui nous a déjà servi de base. Chacun pourra refaire le calcul pour la richesse de vin spéciale à sa distillerie. Nous conservons 8^v,5 pour faire des comparaisons avec les dépenses calculées antérieurement (**126**).

(**144**) *Premier cas. — Colonnes à récupérateur.*

Il y a lieu de faire remarquer que lorsque la colonne produit du haut degré, il y a un peu plus de vinasse. Au lieu de 15 k. de flegmes à 53^v,4, nous ne produirons plus que 7 k. 31 d'alcool à 94^v, et il y aura 7 k. 69 d'eau qui resteront en plus dans la vinasse.

Si l'on chauffe par serpentin, au lieu de 87 k. de vinasse, nous en aurons 94 k. 69. Si le chauffage se fait par barboteur, au lieu de 97 k. de vinasse nous en

aurons 104 k. 69. Dans l'un et l'autre cas, le récupérateur donnera de ce fait un peu plus de chaleur au vin ; il faudra ajouter dans chaque cas :

$$7\text{ k. }69 \times 1{,}0076 \times 77^\circ = 596 \text{ calories.}$$

1° *Serpentin.* — Chaleur récupérée : 6.750 + 596 = 7.346.

Chaleur à fournir au vin : 8.011 — 7.346 = 665 calories.

Reportons-nous à ce que nous avons démontré pour la méthodicité des colonnes continues : la chaleur à fournir à l'appareil, en dehors du complément nécessaire pour amener le vin à ébullition, peut descendre à l'équivalent de celle qui sort du haut de l'appareil pour aller au condenseur, et c'est la limite minimum.

Or nous venons de démontrer que par kilo de flegme à 94°, c'est-à-dire pour 0 k. 910 d'alcool pur, ce nombre descendait à 576 calories.

Un hectolitre de vin contient 8 lit. 5 d'alcool pur, soit 6 k. 72. Le nombre de calories correspondant à 6 k. 72 d'alcool à l'état de flegme à 94° sera

$$576 \times \frac{6{,}72}{0{,}91} = 4.253 \text{ calories.}$$

Chaleur totale de distillation . . 665 + 4.253 = 4.918 calories

Vapeur par hectolitre de vin $\frac{49{,}8}{551{,}6} = 8\text{ k.},92$

Calories par hectolitre d'alcool . . $4.918 \times \frac{100}{8{,}5} = 57.800$ »

Vapeur par hectolitre d'alcool. . . . $\frac{57.800}{551{,}6} = 105$ kilos.

2° *Chauffage par barbotage.* — La chaleur récupérée devient :

$$7.525 + 596 = 8.121 \text{ calories.}$$

Or, il n'en faut que 8.011 ; donc le vin, si le recupérateur est supposé parfait, est amené à température d'ébullition. La colonne n'a à fournir que la chaleur latente de la vapeur alcoolique à 94° qui sort par son tuyau supérieur pour se rendre au condenseur, c'est-à-

dire 4.253 calories, ainsi que nous venons de l'établir.

Chaleur totale de distillation par hectolitre de vin : 4.253 calories
Soit une dépense de vapeur par hectolitre: $\frac{4.253}{551,6} =$ 7 k.,72.

Nous pouvons dire que c'est le minimum théorique de ce que peut coûter la distillation de ce vin.

$$\text{Calories par hect. d'alcool} = 4.253 \times \frac{100}{8,5} = 50.039 \text{ calories}$$

$$\text{Vapeur par hectolitre d'alcool} = \frac{50.030}{551,6} = 90 \text{ k.,8}$$

(145) *Deuxième cas.*
Colonnes à haut degré et à chauffe-vin.

Nous ne voulons considérer que le cas où le haut degré est exclusivement fourni par la rétrogradation du chauffe-vin, sans l'adjonction d'aucun condenseur. Et, en effet, lorsque la colonne est bien construite, le vin suffit à amener le flegme à 92^v, et même à 94^v ;

Tout ce qui se condense au chauffe-vin est rétrogradé ; ce n'est que l'excédent de vapeur alcoolique qui va au réfrigérant et forme le coulage de l'éprouvette. Le liquide condensé au chauffe-vin se trouvant au contact de la vapeur à 94^v est forcé de conserver la température de cette vapeur, à très peu près. Nous ferons, néanmoins les calculs en admettant pour cette rétrogradation une perte de 10^t, pour nous rapprocher de la réalité des faits.

Enfin, nous ne tablerons pas sur un degré de 94^v, mais nous supposerons 92^v seulement.

6 k,8 d'alcool à 100^v = 7,68 de flegme à 92^v.

$$92^v = 88^p,5$$

Calculons d'abord la chaleur emportée par les 7k,68 de vapeur alcoolique à 92^v qui passent au réfrigérant puis à l'éprouvette. Ici faut-il envisager la chaleur totale :

1° Chaleur latente = 247,
2° Chaleur spécifique $C = 0,683 + 0,00315\ t$.

$$2t = 78°,9, \quad \text{d'où} \quad C = 0,807.$$

Nous supposons que le réfrigérant est refroidi par l'eau (c'est le cas général presque sans exception), et non pas par du vin. Par le vin, la colonne serait plus économique, mais on ne pourrait refroidir suffisamment l'alcool qui est à haut degré, et il en résulterait des pertes par évaporation.

Tout en employant l'eau, nous admettrons qu'on ne refroidit l'alcool qu'à 25ᶜ ; le refroidissement supplémentaire ne nous intéresse pas dans notre calcul ; en effet l'alcool, quand il faisait partie intégrante du vin, avait la température de 25ᶜ ; il faut que nous le fassions sortir à 25ᶜ également pour qu'il n'ait ni acquis ni perdu de chaleur.

Le refroidissement de l'alcool de 78ᶜ,9 à 25ᶜ, emporte 0,807 × 53ᶜ,9 = 43 cal.,5.

En somme, chaque kilogramme de vapeur qui va au réfrigérant emporte 247 + 43 cal., 5 = 290 cal., 5.

290,5 × 7 k.,68 = 2.231 calories.

Nous allons démontrer que la dépense en vapeur de la colonne est indépendante de la chaleur à laquelle le vin peut atteindre, autrement dit que la dépense est la même que s'il n'y avait pas de chauffe-vin ; nous savons que dans cette dernière hypothèse, la dépense de calories dans l'intérieur de la colonne pour l'échauffement du vin serait de 8.011 calories.

Soit A le nombre de calories gagnées par le vin dans le chauffe-vin. Dans la colonne, l'échauffement complémentaire du vin n'exigera plus que (8,011 — A) calories.

Mais d'un autre côté il faut considérer que nous faisons rentrer dans la colonne un certain volume de rétrogradation ; cette rétrogradation est constituée par la condensation de vapeurs alcooliques qui ont, par leur condensation, transmis au vin exactement la quantité A de calories que celui-ci a gagnées, le chauffe-vin étant supposé parfait. Si la condensation de cette rétrogradation a dégagé A calories, sa réévaporation dans la colonne va exiger exactement A calories. La dépense totale de la colonne sera donc :

1° Pour compléter l'échauffement du vin	(8.011-A)	calories
2° Pour réévaporer la rétrogradation .	A	—
Total . .	8.011	calories

comme s'il n'y avait pas de chauffe-vin. Donc, il n'est pas indispensable de connaître A.

On n'a qu'à se figurer qu'il existe au haut de la colonne une sorte de stock d'alcool, toujours le même, qui fait indéfiniment la navette du chauffe-vin à la colonne et réciproquement, tandis que l'alcool qui passe à l'éprouvette proviendrait de l'apport incessant dû à l'alimentation du vin. Le chauffage du vin se fait pour ainsi dire au second degré, par l'intermédiaire de A.

La dépense est donc la même que s'il n'y avait pas de chauffe-vin, mais le résultat, comme allure de colonne, n'est pas le même; car c'est le chauffe-vin, et sa rétrogradation reçue sur une série de plateaux rectificateurs, qui permettent d'atteindre au haut degré alcoolique que l'on désire. En un mot, les conditions de notre théorème du n° (**129**), sont remplies, tandis qu'elles ne le seraient pas du tout si l'on introduisait le vin froid dans la colonne pour l'échauffer par barbotage.

En somme, la dépense de calories dans le cas qui nous occupe est la suivante :

Chaleur emportée par le flegme au réfrigérant	2.231 calories
Chauffage intégral du vin de 25^t à $93^t,6$ =	8.011 —
Total . . .	10.242 calories

Si l'on employait le vin au réfrigérant, il y aurait récupération de 2.231 calories. Mais il faut se demander si le vin suffirait alors à produire une rétrogradation assez abondante pour que le degré de 92° au moins fût obtenu.

On pourrait faire ce calcul, qui dans certains cas est intéressant, et faire également le calcul d'un récupérateur permettant une récupération partielle de la chaleur des vinasses avant d'envoyer le vin au chauffe-vin condenseur; mais nous pensons que les exemples de calculs précédents suffiront pour la solution des divers problèmes.

(146) *Comparaison des divers systèmes de colonnes à distiller*

Nous pouvons nous baser sur les chapitres qui précèdent pour faire une comparaison, au point de vue de la dépense de vapeur, des divers systèmes de colonnes à distiller, selon qu'elles ont des récupérateurs ou des chauffe-vin, ou selon qu'elles produisent bas ou haut degré de flegme. Ces chiffres sont résumés dans le tableau de la page ci-après

Ceci nous permet de classer les types de colonnes suivant leur degré d'économie. Prenons, pour base, les kilogrammes de vapeur par hectolitre de vin.

La plus économique,	7,71,	haut degré,	récupérateur,	barboteur.
La 2e »	8,91,	»	»	serpentins.
La 3e »	12,7 ,	bas degré,	»	barboteur.
La 4e »	13,96,	»	chauffe-vin,	»
La 5e »	16,27,	»	récupérateur,	serpentins.
La moins économique	18,58,	haut degré,	chauffe-vin,	»

Ainsi, entre la première et la dernière, toutes deux distillant le même vin à 8°,5, et toutes deux produisant du haut degré, par le seul fait que la dernière emploie un chauffe-vin au lieu d'un récupérateur, la dépense devient 2,4 fois plus forte que dans le premier cas. Il n'est donc pas indifférent de faire choix d'une combinaison plutôt que d'une autre quand on le peut; mais il est bien des cas où l'on ne peut choisir.

Ainsi la récupération est totalement interdite :

1° Aux distilleries de mélasses de betteraves, puisqu'il faut évaporer les vinasses dans le four à potasse ; si l'on refroidissait celles-ci, il faudrait ensuite du combustible pour les réchauffer jusqu'à ébullition ;

2° Aux distilleries de grains par les acides et à moûts troubles, parce que les vinasses doivent rester aussi chaudes que possible pour passer aux filtres-presses.

Elle ne peut être pratiquée que dans une certaine limite pour :

1° Les betteraves par macération ou diffusion aux vinasses ;

2° Les grains par le malt, car on désire donner la drêche chaude au bétail. — Dans le cas où l'on veut

Tableau résumant les dépenses théoriques de chaleur des diverses colonnes à distiller

Vin à 8°,5		Degré du flegme à 15°	Calories récupérées par hectolitre de vin	Calories dépensées		Vapeur dépensée	
				par hectolitre de vin	par hectolitre d'alcool à 100°	par hectolitre de vin	par hectolitre d'alcool à 100°
Colonnes sans chauffe-vin, mais munies d'un récupérateur de chaleur parfait.							
Flegme à bas degré	Chauffage par serpentin . .	53,4	6.750	8.956	105.300	16k17	191k3
	» par barboteur . .	63,4	7.700	8.006	94.190	12,7	149,5
Flegme à haut degré	Chauffage par serpentin . .	94 »	7.346	4.918	57.800	8,92	105,0
	» par barboteur . .	94 »	8.011	4.253	50.030	7,72	90,8
Colonnes sans récupérateurs, mais munies d'un chauffe-vin parfait.							
Serpentin ou barboteur	Flegme à bas degré . . .	53,4	8.011	7.695	90.530	13,96	164,3
	» à haut degré . . .	92 »	zéro	10.242	120.500	18,56	218,6

faire des décantations ou concentrations de drêches, on ne peut aucunement récupérer.

En somme, on ne peut employer la récupération totale que pour :

Les betteraves par diffusion ou par presses ;

Les mélasses de canne (pas de salins) ;

Les grains à l'acide à moûts clairs ;

Les vins de raisins ou autres fruits.

Nous ferons remarquer que les récupérateurs de chaleur présentent certains inconvénients lorsque les vins ne sont pas limpides ; il est difficile d'éviter l'encrassement. à la fois du côté du vin et du côté de la vinasse ; il y a là un problème de construction assez délicat.

Enfin, nous sommes obligés de signaler que les colonnes à haut degré ordinairement employées sont sujettes à donner de très grands écarts entre la dépense théorique trouvée ci-dessus et la dépense pratique. Rien n'indique si l'on n'exagère pas l'introduction de vapeur en pure perte. Dans les colonnes à bas degré, l'excès de vapeur de chauffage se trahit par l'abaissement du degré à l'éprouvette. Mais ici, en mettant un peu plus d'eau au condenseur, on peut atteindre le même degré élevé que si la dépense de vapeur était normale.

Nous verrons plus loin comment M. Barbet s'est soustrait à cette éventualité dans son système spécial de colonnes à haut degré.

Jusqu'ici, nous n'avons fait, sur la dépense de vapeur que des calculs théoriques. Mais on peut aussi se livrer à des recherches expérimentales directes.

Les essais de consommation de vapeur sont assez délicats à faire. Si l'on a un chauffage par serpentin, on peut assez facilement recueillir l'eau de condensation de ce dernier, et la peser ou la mesurer. Dans le cas du chauffage par barbotage, il faut avoir une citerne jaugée permettant de recueillir les vinasses produites pendant un certain temps, citerne qu'il n'est pas toujours facile d'installer et qui est coûteuse.

On prend note du coulage du flegme à l'appareil pendant le même temps, et de la quantité de vin introduite. La différence entre le poids du vin et les poids ajoutés

des flegmes et des vinasses, donnera le poids de vapeur condensée. Quelques expériences que nous avons pu faire sur des appareils en marche, bien construits et bien conduits nous ont montré, que les chiffres théoriques des tableaux ci-dessus sont inférieurs aux chiffres pratiques de moins de 20 % ; en appliquant aux chiffres des tableaux, cette dernière majoration, on sera donc au-dessus de la vérité, et ces chiffres ainsi majorés pourront servir de guide pour le réglage des colonnes.

La méthode pratique que nous avons signalée ci-dessus pour les essais de consommation de vapeur des appareils, est celle adoptée par le constructeur allemand Ilgès et que préconise aussi Maercker [1]. Nous ne reproduirons pas ici tout au long les calculs de cet auteur, nous nous contenterons de les résumer dans le tableau A ci contre, où ils sont calculés par la méthode d'Ilgès suivant les données de Maercker [2], et nous y ajouterons le tableau publié par la *Zeitschrift für Spiritus Industrie* comme résultat d'une polémique engagée entre les constructeurs Ilgès et Christophe sur la valeur relative de leurs appareils. Ces chiffres d'origine allemande nous dispensent d'insister sur les colonnes allemandes qui sont très coûteuses en vapeur, quand on compare leurs résultats à ceux que nous avons calculé. Pourtant, Maercker ajoute : « Nous voyons, d'après les résultats des expériences que nous venons de rapporter, que les appareils continus employés habituellement travaillent *économiquement*. (Maercker n'est pas difficile à contenter). Il ressort des chiffres de Delbrück que l'appareil de Bohm est le plus avantageux. Cette appréciation est confirmée par les essais faits par *Bœckenhagen*, de Güstrow. »

L'appareil de Bohm est celui qui se rapproche le plus des colonnes françaises, malgré un chauffe-vin condenseur absolument insuffisant que l'on a dû compléter par un condenseur à eau. Cette remarque de Maercker confirme pleinement nos théories.

Les colonnes distillatoires employées en Allemagne donnent toutes des flegmes à haut degré. Elles diffè-

(1) Maercker. loc. cit., pages 378 et suivantes.
(2) Voir pour tous ces calculs, E. Barbet, loc. cit., pages 92 et suivantes.



Tableau A (d'après Maercker)

APPAREILS	Contenance du vin en alcool	Degrés centésimaux des flegmes	Par hectolitre de vin			
			Poids du flegme	Poids des vinasses	Poids de vapeur dépensée	Nombre de calories
Siemons	11,07	89°2	10k40	137k7	48k10	26.400
Appareils à charges périodiques.	9,5	85 à 86	9,49	125,5	34,99	19.244
Ilgès (selon Lindenmayer)	3,95	85 à 93	3,72	126,9	30 62	16.841
Ilgès.	9,37	90,3	8,67	118,2	26,87	14.778
Ilgès.	9,51	92,7	8,47	123,1	31,57	17.363
Christoph	9,01	86,7	8,79	112,3	21,09	11.599

Tableau B (Zeitschrift für Spirit.-Ind.)

APPAREILS	Contenance en alcool pur		Temps	Volume de la vinasse	Eau employée	Chaleur de la vinasse	Dépense de charbon	Température de l'eau chaude
	du vin	des flegmes						
	vol. %	vol %	minutes	litres	litres	calories	kilos	deg. cent.
Christoph	9,17	88,00	5,39	122,3	126,9	16.373	4,68	50,0
Ilgès.	9,44	89,8	4,90	122,4	93,9	15.622	4,46	62,9

rent très sensiblement des types généralement usités en France.

Nous pouvons les diviser en trois catégories principales :

1° Les colonnes qui dérivent de la colonne française, c'est-à-dire avec plateaux à calottes ;

2° Les colonnes pleines, c'est-à-dire celles dans lesquelles il n'y a, pour ainsi dire, qu'une sorte de chaudière de forme cylindrique très haute, noyée de vin, mais sectionnée par des cloisonnements spéciaux ;

3° Les colonnes à boules de porcelaines ou de verre, ou à dispositions divisant le vin en pluie.

On trouvera dans l'ouvrage de Maercker des détails et des dessins assez explicites sur les appareils allemands. Nous ne pouvons pas nous étendre sur ce chapitre, et nous nous bornerons à dire quelques mots des colonnes pleines, parmi lesquelles nous prendrons pour type la colonne d'Ilgès.

Les colonnes de cette catégorie résolvent toutes très bien le problème de la distillation des matières pâteuses, sans engorgements ni obstructions. Mais elles dépensent énormément de vapeur.

On est obligé de maintenir dans cette catégorie de colonnes une ébullition tellement violente pour obtenir l'épuisement, que le volume apparent du moût se trouve doublé par les bulles de vapeur. Ainsi, si l'on vient à arrêter brusquement l'introduction de vapeur dans ces colonnes, le niveau intérieur du moût baisse instantanément de moitié : au lieu de 4 mètres de hauteur, par exemple, il n'y en a plus que 2.

Entre parenthèse, ceci prouve qu'on ne peut arrêter la colonne qu'après épuisement, ce qui est encore assez long à cause du condenseur et de sa rétrogradation. L'on remarque aussi qu'il devient difficile d'employer la vapeur d'échappement des machines au chauffage de ces colonnes, car il faut pouvoir accepter une contre-pression effective d'au moins 2/3 d'atmosphère pour traverser facilement les 4 mètres de liquide; or une telle contre-pression diminue énormément le rendement en travail des moteurs.

La colonne Ilgès, dont nous donnons ci-contre le dessin, est le type le plus répandu de ce genre de

colonnes pleines. Elle ne possède pas de chauffe-vin ni de récupérateur ; aussi devient-elle extrêmement dispendieuse avec nos vins ou moûts français, qui sont généralement à degré alcoolique bien moindre qu'en Allemagne.

La colonne Ilgès présente un système d'alimentation tout à fait spécial. Notre cliché représente une première cuve à vin assez vaste en dessous de laquelle un second réservoir conique sert à régler l'alimentation. Bien que la colonne soit continue, l'alimentation éprouve des intermittences, qui ont lieu à chaque fois qu'il faut remplir à nouveau le récipient inférieur. Ce récipient inférieur est hermétiquement clos. et fonctionne à la façon d'un flacon de Mariotte ; il ne laisse écouler le moût, quelqu'ouvert que soit le robinet, qu'au prorata de la quantité d'air qu'on laisse rentrer dans le réservoir. Plus on ouvre le robinet d'air, plus il y a d'alimentation ; mais une fois l'ouverture du robinet d'air déterminée, l'écoulement du moût ne peut plus changer jusqu'à ce que le récipient soit vide. A ce moment il faut tout arrêter pour remplir le récipient, manœuvre un peu délicate pendant laquelle la conne s'emballe et se dérègle, car la suppression de l'alimentation froide donne instantanément un grand excès de force au chauffage.

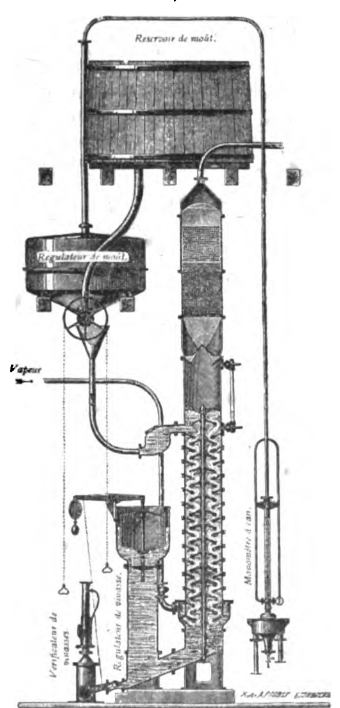


Fig. 37. — Colonne Ilgès.

Dans leurs intallations plus récentes, les constructeurs de cet appareil ont modifié l'alimentation, et ont réussi à la rendre continue par un système spécial de fléau de balance qui agit sur un papillon de réglage.

(147) *Distillation et Rectification en une seule opération.*

Ce que nous avons démontré au sujet de la Rectication continue donne tout de suite à penser qu'on doit pouvoir obtenir l'alcool rectifié en une seule opération continue, même en partant d'un vin très faible en degré. Nous avons vu qu'avec du flegme, la séparation continue des éthers et des huiles amyliques se faisait d'une façon rationnelle, économique et complète. Cette démonstration ne s'est à aucun moment basée sur la nécessité d'avoir un degré alcoolique minimum pour le flegme à rectifier. Ce qui est vrai pour du flegme à 45°, reste exact pour du flegme à 30° et même plus faible. Qui nous empêche de considérer comme un flegme du vin à 10° ou même à 5°. En quoi notre raisonnement sera-t-il entamé ?

La rectification continue n'exige qu'une seule condition : il faut qu'il y ait balance exacte entre les sorties des produits alcooliques, bons et mauvais, et leur entrée sous forme de flegme ; c'est une obligation inéluctable quelque soit le degré alcoolique du liquide d'alimentation. Si celui-ci est faible en degré, il faudra, pour un même coulage d'alcool rectifié, forcer proportionnellement l'alimentation. Les dimensions des diverses parties relatives de l'appareil, tronçons de rectification d'une part, et plateaux d'épuisement de l'autre, devront être étudiés d'une façon spéciale, mais il n'est pas douteux que l'on doive arriver au résultat.

C'est en effet ce que l'expérience industrielle a prouvé. Toutefois le problème comporte une bien plus grande variété de solutions que la rectification continue, parce que, selon les matières premières travaillées, et selon l'ambition de l'industriel pour la qualité à obtenir, le résultat à atteindre par la distillation-rectification est lui-même très-variable d'une usine à l'autre.

(148) PREMIER CAS

Supposons une distillerie industrielle existante, déjà pourvue d'appareils de rectification. Cette usine voudrait améliorer la qualité de ses alcools, et y arriver sans s'astreindre à faire de la double rectification, parce que cette opération comporte trop de freinte et de dépense de charbon.

Dans ce cas, il ne s'agit pas d'atteindre du premier coup la perfection à la première opération de distillation-rectification, puisque l'on complètera l'épuration par les rectificateurs existants. Il suffit pour ainsi dire de *dégrossir* le flegme, en sélectionnant le mieux possible les produits de tête et de queue.

On réalisera ce programme simplifié par la colonne représentée figure 38.

Il n'y a pas d'épurateur continu ; la sélection des éthers se fait par la *Pasteurisation* au haut des pla-

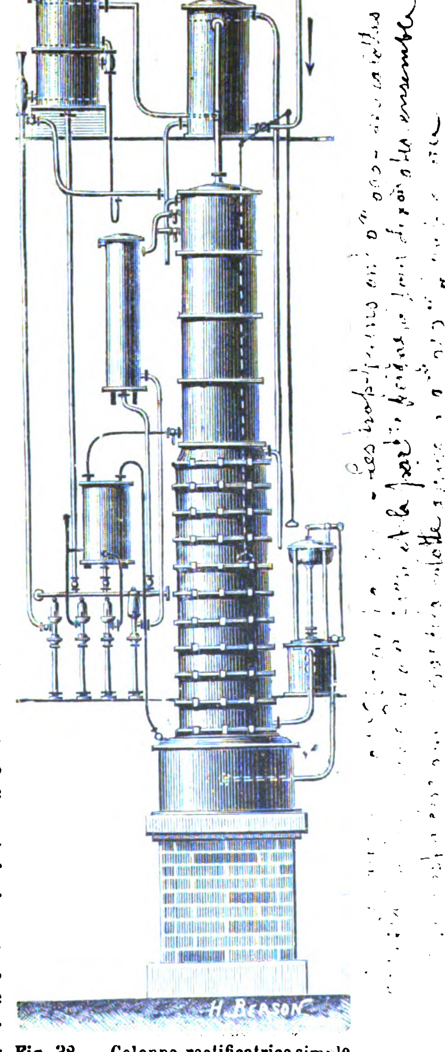


Fig. 38. — Colonne rectificatrice simple.

teaux rectificateurs (voir **135**) et le système de réglage invariable du coulage permet de faire une extraction d'éthers aussi minime ou aussi large que l'on désire, selon les besoins.

L'extraction des huiles est tout à fait identique à celle du rectificateur continu, sauf qu'il faut la placer au bas des tronçons rectificateurs et, non en dessous de l'alimentation.

Nous sommes en présence d'une colonne à haut degré, et la première question qui se pose est de savoir si nous avons là une solution plus économique que par les procédés usuels de distillation à bas degré, suivis de double rectification.

Nous sommes à même de répondre à cette question car il a été prouvé antérieurement (**146**) que la colonne à haut degré, non seulement n'est pas plus coûteuse que les colonnes ordinaires, mais qu'elle peut même descendre à une moindre dépense de vapeur lorsque la nature des matières distillées permet d'employer un récupérateur de la chaleur des vinasses.

Si l'on considère, d'autre part, que la rectification ultérieure donnera de bien plus grandes proportions de bon goût (dans le cas de rectificateur ordinaire discontinu), l'on voit que la colonne à pasteurisation donnera simultanément économie de charbon et amélioration considérable de l'alcool fabriqué.

L'alcool pasteurisé fourni par cette colonne est d'une très grande pureté chimique. A la distillerie de Clastres il atteint 96 degrés, et décolore le permanganate de potasse en 45 minutes et même d'avantage. On a constaté jusqu'à une heure cinq minutes comme maximum, au sortir de l'éprouvette, c'est-à-dire une pureté chimique que la double rectification discontinue ne peut pas atteindre. Si l'analyse devait être le seul critérium de la valeur marchande d'un alcool, on voit que cet appareil, en une colonne unique, et de construction fort simple, atteindrait la perfection du premier coup.

Malheureusement, l'alcool pasteurisé conserve des traces de l'odeur d'origine, traces d'autant plus faciles à percevoir qu'il n'y a plus d'impuretés éthériques pour les masquer. S'il s'agissait de distillation de vin, de cidre, de fruits ou de canne, l'odeur d'origine conservée

et affinée, loin d'être un inconvénient, constituerait, au contraire, une marque originelle très précieuse et très appréciée des consommateurs, ainsi que nous le verrons dans un autre chapitre (**156**).

Mais quand on distille la betterave et la mélasse de betterave, l'odeur qui subsiste, si faible qu'elle soit, est une tare qu'il faut faire disparaître. Elle est éliminée soit par la filtration sur charbon de bois (**153**), soit par l'épuration continue à bas degré, soit enfin par la rectification continue ou discontinue elle-même.

Le flegme pasteurisé, filtré ou non, étant d'une très grande pureté, la rectification ultérieure n'a que bien peu d'imperfections à sélectionner. Elle ne produira plus de mauvais goûts, mais simplement des moyens goûts ; ceux-ci seront en proportion très minime si l'on opère par la rectification continue.

Contrairement aux usages ordinaires, ce n'est plus la rectification qui fournit les mauvais goûts concentrés, à vendre à la dénaturation. C'est au contraire l'appareil distillatoire.

Il y a donc intérêt à les produire du premier coup au maximum de concentration. Pour les huiles, principalement, il est à remarquer que leur extraction ne peut se faire qu'entre 40 et 60° alcooliques ; elles ne sont pas vendables à ce degré, il faut donc, nécessairement, leur faire subir une concentration.

M. Barbet opère cette concentration automatiquement au moyen d'une petite colonne annexe, ressemblant beaucoup à son appareil de laboratoire (fig. 4).

Les huiles extraites de la colonne à distiller entrent à mi-hauteur de l'appareil additionnel, dont les plateaux supérieurs servent à faire une rectification sommaire. Le *pasteurisé* de cette colonne additionnelle fournit des huiles à 90-91°, très mauvaises et ne contenant que des traces d'alcool éthylique, tandis que celui-ci monte au condenseur et au réfrigérant, d'où on le fait redescendre dans les plateaux d'épuisement de la colonne-rectificatrice.

Pour les éthers, la concentration pourrait s'effectuer simplement en diminuant le coulage des têtes ; mais la qualité du *pasteurisé* s'en ressentirait. Tandis qu'avec

le dispositif additionnel, représenté dans la figure 39, le pasteurisé se trouve au contraire amélioré.

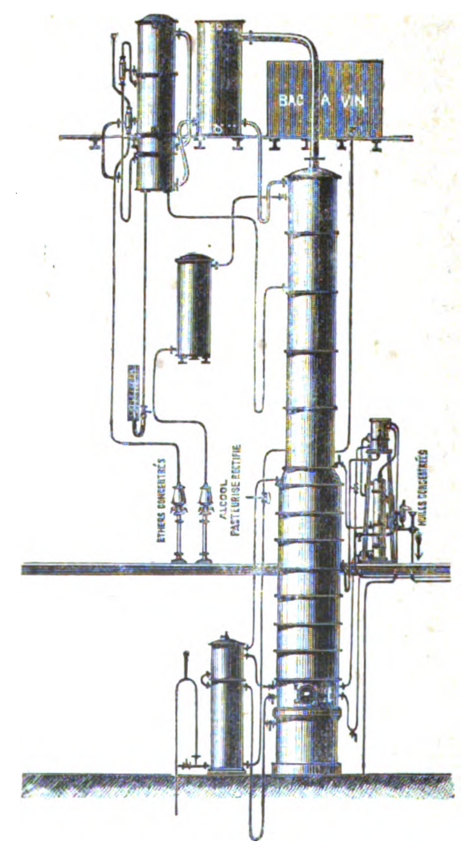


Fig. 39. — Colonne rectificatrice simple à concentration des éthers et des huiles.

Au sortir du condenseur, les vapeurs, au lieu d'aller directement au réfrigérant, vont se concentrer dans un petit tronçon de colonne à plateau situé sous le réfrigérant. C'est exclusivement dans ces plateaux que se

cantonnent les produits de tête ; aussi la rétrogradation du premier condenseur est-elle très peu impure. Le pasteurisé, qui en provient en ligne directe, se trouve lui-même d'autant meilleur, et l'on peut impunément diminuer le coulage des éthers à une proportion infime, 2 et même 1 %, selon l'impureté des vins.

Ces deux perfectionnements, pour la concentration des huiles et des éthers, ont une grande importance pour les distilleries agricoles, qui ne rectifient pas, ou pour les fabriques d'eaux-de-vie ou de rhums, car ils économisent l'installation d'un rectificateur spécial pour les mauvais goûts, tout en fournissant 96 à 97 % de bon goût de premier jet.

Pour les grandes usines également, l'on arrive ainsi à supprimer le rectificateur à mauvais goût. Il existe, il est vrai, quelques distillateurs qui n'ont pas d'appareil à bas produits, et qui renvoient dans les vins à distiller tous les mauvais goûts de tête ou de queue du rectificateur. Mais cette méthode est détestable, car de deux choses l'une :

Ou bien la colonne n'épuise pas complètement les vins, et les huiles disparaissent avec les vinasses ; c'est une perte pure et simple.

Ou bien la colonne épuise à fond, comme elle le doit, et alors toutes les huiles sont évaporées de nouveau et souillent les flegmes. Il devient impossible à la rectification d'en obtenir un alcool convenable.

Tandis qu'avec la colonne rectificatrice, rien n'est plus légitime que le renvoi dans le vin des moyens goûts de rectification, la colonne donnant un exutoire spécial et aux produits de tête et aux produits de queue. L'accumulation devient dès lors impossible, et l'ensemble des opérations industrielles se trouve ainsi allégé de tout le souci habituel des repassages indéfinis. La fabrication se solde au fur et à mesure en bon goût pasteurisé d'une part, et mauvais goûts concentrés à vendre d'autre part. Cela se fait sans perte.

Avec les anciennes installations l'on rencontre beaucoup de distillateurs qui se vantent de ne jamais vendre de mauvais goûts de tête. Cela tient unique-

ment à ce qu'ils usent ces produits à force de les repasser. C'est une perte de fabrication, et par conséquent une faute.

(149) DEUXIÈME CAS

Supposons une usine à construire. Il s'agit par exemple d'une distillerie de betteraves, ne travaillant que trois mois par an. C'est une société agricole, et non commerciale. Elle désire faire de l'alcool aussi bon que possible, mais elle ne vise pas à se faire une clientèle permanente avec des alcools de haute marque. Enfin elle cherche à fabriquer dans les meilleures conditions d'économie.

Dans ce cas, pour éviter les traces d'odeur d'origine que nous avons reprochées à la colonne rectificatrice simple qui précède, nous aurons recours à l'épuration à bas degré, qui triomphe aisément de cette sorte d'impureté. Nous rendrons la colonne double ou jumelle; dans la première partie, nous ferons l'épuration des éthers; dans la seconde, qui constituera la rectification proprement dite, nous obtiendrons de l'alcool pasteurisé à 97 degrés environ, et nous séparerons les huiles à l'état concentré (fig. 40).

A première vue, l'appareil ainsi constitué semble identique aux colonnes jumelles allemandes ou anglaises. Il en diffère essentiellement par le fait que la première colonne possède, au-dessus de l'alimentation, quelques plateaux rectificateurs, ainsi qu'un condenseur et un réfrigérant.

Dans les colonnes allemandes, la vapeur alcoolique à bas degré sort du haut de la première colonne pour aller se rectifier dans la seconde.

Ici ce n'est plus la vapeur, mais un flegme épuré et bouillant qui va de la première partie à la seconde, et cette modification a des conséquences capitales au point de vue de la purification.

Voici comment opère cette colonne jumelle :

Les vapeurs alcooliques à 40 degrés environ, produites par les plateaux d'épuisement, montent dans les plateaux supérieurs où il se forme un classement des liquides alcooliques par degrés croissants, comme dans

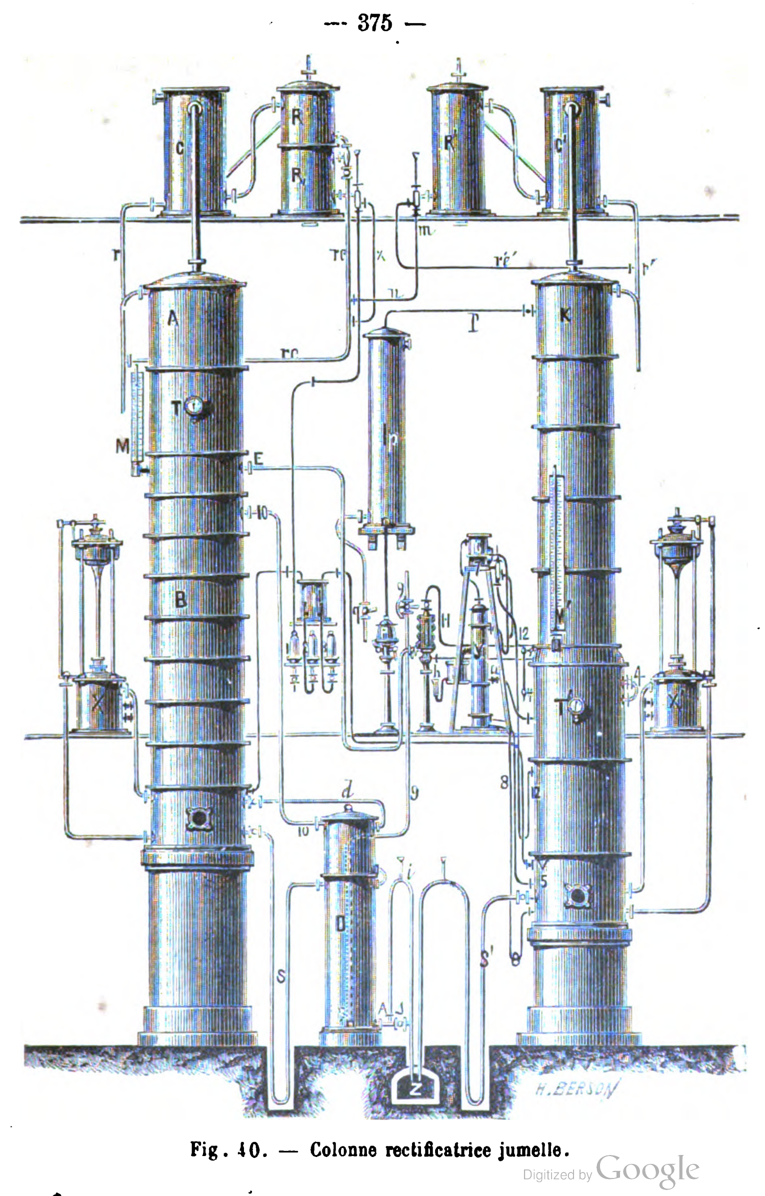


Fig. 40. — Colonne rectificatrice jumelle.

les appareils précédents. On extrait un volume très réduit de produits de tête, pour les avoir très concentrés. Il en résulte que la rétrogradation du condenseur est elle-même très impure; mais nous n'en éprouvons pas d'inconvénient, parce que notre intention n'est plus d'extraire le pasteurisé à haut degré. Nous laissons, au contraire, la rétrogradation descendre graduellement jusqu'à la base des plateaux rectificateurs, et dans ce long parcours méthodique, elle a tout le temps de se *pasteuriser* à fond, c'est-à-dire de perdre toute trace de produit de tête.

En E, nous faisons sortir la *totalité* du liquide rétrogradé. Ce liquide est forcément au degré de la vapeur qui se dégage du vin au plateau d'alimentation, diminué de la petite quantité résultant de l'extraction d'éthers. Supposons cette vapeur à 40° et admettons que l'on soutire exactement 2 1/2 % d'éthers; pour chaque hectolitre à 40° on prélèvera 1 litre à l'état d'éthers; le degré sera donc ramené à 39°. Quelle composition présentera ce flegme à 39 degrés? Il contiendra la totalité des impuretés de queue, mais sera dépouillé non seulement des produits de tête, comme tout pasteurisé, mais encore des odeurs. Celles-ci, en effet, après avoir été mises en vapeur par l'ébullition du vin, ne peuvent pas être arrêtées par le liquide des premiers plateaux rectificateurs, car elles sont trop peu solubles dans les liquides dilués à 40° environ et bouillants. Ce n'est que dans les plateaux supérieurs qu'elles pourront être partiellement redissoutes par l'alcool à 95°, mais sans pouvoir s'y accumuler d'une façon nuisible à cause de l'exutoire permanent fourni par l'extraction des éthers.

En un mot, il sort en E un flegme *épuré*, spécialement préparé pour la rectification complémentaire de la colonne jumelle.

Le flegme passe à travers une éprouvette fermée H, d'un type spécial, pour que l'on se rende compte du degré alcoolique approximatif et du débit. Le degré alcoolique est indiqué d'ailleurs d'une façon plus précise par la température d'ébullition au moyen du thalpotasimètre T.

La deuxième colonne est constituée comme celle

d'un rectificateur continu avec nouvelle pasteurisation (voir **134**); la figure montre qu'on y a adapté un concentrateur des huiles comme décrit ci-dessus. (**148**)

En somme, la colonne rectificatrice jumelle constitue à elle seule toute la salle distillatoire. Les quelques 4 ou 5 % de moyen goût extraits en tête de la deuxième colonne retournent directement dans la première. De cette façon, il ne sort de l'appareil que de l'alcool extra d'une part, et d'autre part des éthers et des huiles réduits au volume minimum.

(**150**) TROISIÈME CAS

Il y a un troisième cas; c'est celui où l'on distille des matières qui ont un bouquet naturel agréable, et qu'il importe d'affiner en le conservant. Ce cas se présente surtout dans la distillation des vins, cidres, marcs et tafias. Mais comme la question des arômes naturels exige quelques développements spéciaux qui seront mieux à leur place au chapitre des vins (**156**), c'est à ce moment que nous décrirons les particularités des appareils de distillation appropriés.

Les distilleries qui travaillent le seigle et l'orge, comme, par exemple, les fabriques de levure pressée, possèdent dans leurs flegmes des arômes que recherchent les amateurs de genièvre. Pour ces usines, il faudra la colonne épuratrice simple, que l'on peut combiner directement avec une *boîte à aniser* où l'on mettra les baies de genièvre. On fabriquera ainsi de premier jet un genièvre conservant l'arôme du grain, bien hygiénique et d'une grande finesse, grâce à l'expulsion des huiles amyliques et des produits de tête.

(**151**) QUATRIÈME CAS

Reste le cas des usines qui veulent arriver à des marques d'alcool tout à fait supérieures. On sait que dans ce but l'emploi du charbon de bois, dont nous parlerons un peu plus loin (**153**) donne d'excellents résultats; les alcools acquièrent une souplesse toute spéciale qui est très estimée.

Le programme sera rempli de la façon suivante:

En premier lieu une colonne rectificatrice simple avec concentration d'huiles et d'éthers.

Le flegme pasteurisé à 96° sera coupé d'eau pure et filtré sur charbon de bois.

Enfin le flegme filtré sera rectifié par un rectificateur continu complet, pourvu d'un épurateur continu préalable.

(152). *Epuration chimique.*

La nature de cette opération doit forcément varier suivant la nature des impuretés à éliminer.

Contre les aldéhydes, on a employé successivement les corps *oxydants*, puis les corps *réducteurs*, voire même l'électricité agissant comme ces composés chimiques ; on peut, en effet, obtenir d'assez bons résultats dans certains cas, mais il faut un dosage si précis pour que le remède ne devienne pas plus coûteux ou pis que le mal, que cette catégorie d'agents épurants a été abandonnée presque complètement. Il n'y a plus guère que le chlorure de chaux qui soit encore employé.

L'action de ce dernier agent est de transformer les aldéhydes en chloroforme ; s'il est en excès, il agit de même sur l'alcool. On n'a donc fait que transformer une impureté en une autre aussi nuisible, sinon plus, au point de vue hygiénique, mais qui par son goût sucré donne un peu de moelleux à l'alcool, surtout pour un palais peu exercé.

Les seuls agents chimiques qui restent d'un emploi facile et fréquent sont : le carbonate de potasse, la soude caustique et l'acide sulfurique.

Le carbonate de potasse n'est employé que comme saturant pour neutraliser la majeure partie des acides libres du flegme ; il faut éviter d'aller jusqu'à neutralité complète.

La soude caustique est surtout employée à la saponification des éthers, son emploi est tout indiqué pour la rectification des flegmes provenant de fermentations acides, tels que les eaux-de-vie de marcs, les tafias, etc., et surtout pour le repassage des produits de tête. On fait alors un dosage des éthers du flegme, comme nous

l'avons indiqué (**98**), puis on introduit dans le bac à flegmes une solution de soude caustique correspondante et en quantité suffisante pour saturer les acides libres et saponifier les éthers. La saponification ne se faisant pas instantanément à froid, il est bon, lorsqu'on n'a pas à sa disposition de bac de chauffage spécial, de faire ce mélange dans un bac au moins douze heures d'avance. Avant d'envoyer au rectificateur, il faut à nouveau rendre le flegme acide, soit par addition d'acide sulfurique, soit mieux par addition d'un peu de flegme non traité par la soude. L'addition de soude doit se faire sur le flegme étendu et il n'en faut jamais mettre un excès, sinon la soude résinifie les aldéhydes, lorsqu'il y en a, en produisant des odeurs infectes; mais le dosage est si facile qu'on peut toujours éviter cet inconvénient.

L'acide sulfurique s'emploie surtout contre les flegmes renfermant de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux organiques provenant, soit d'une fermentation putride, soit des sels ammoniacaux préexistants dans la matière première, et en particulier dans les mélasses. Ces derniers sels, tels que les acétates et bytyrates d'ammoniaque, d'éthylamine ou de méthylamine, etc., jouissent, en effet, de la propriété de se décomposer par perte de leur eau de cristallisation, perte qui peut être provoquée, soit par un excès de chaleur, soit par contact avec un alcool très concentré. Dans ce dernier cas, qui se présente dans les rectificateurs, l'acide rendu libre s'empare de l'alcool pour former un éther, tandis que la base volatile est mise en liberté. Comme les sels ammoniacaux donnaient une réaction sensiblement neutre au tournesol, ils avaient très bien pu passer inaperçus dans un flegme légèrement acide; l'on ne constate leur effet désastreux qu'à la rectification.

Dès que l'on reconnaîtra dans les têtes de rectification des traces de produits ammoniacaux, soit par l'odeur, soit mieux par le réactif de Nessler, on devra avoir recours à l'acide sulfurique. Le dosage de la quantité nécessaire se fera comme pour les éthers dans un appareil à réfrigérant ascendant, en remplaçant la soude titrée par de l'acide SO^4H^2 titré, et en ayant soin

de doser l'acide restant seulement sur le résidu, après avoir chassé l'alcool par distillation, puis les acides volatils par plusieurs additions d'eau.

Il est inutile d'ajouter la quantité d'acide nécessaire longtemps d'avance dans le flegme, comme nous l'avions vu pour la soude caustique, car ici la réaction est presque instantanée et un bon mélange suffit. Avec ce dosage, il n'y a aucune crainte d'abimer les appareils, bien au contraire, puisque l'on retient l'ammoniaque qui est le plus énergique dissolvant du cuivre.

Mais le véritable remède n'est pas là, ce n'est qu'un palliatif. Il est essentiel de remonter à la source du mal et d'en chercher la prophylaxie. En général le moyen préventif consistera dans l'augmentation de l'acidité sulfurique dans les jus avant fermentation ; il sera bon aussi de renouveler les levains et de renforcer leur activité.

(153) *Epuration par les agents absorbants.*

L'agent absorbant le plus usité est le charbon de bois. La filtration des flegmes est absolument analogue à la filtration sur noir des jus de sucrerie, mais ici au noir animal on préfère le charbon de bois qui est plus économique et semble donner de meilleurs résultats. Comme en sucrerie, on peut employer le charbon en morceaux ou en poudre, et dans ces deux cas les appareils employés dans les deux industries présentent la plus grande analogie.

Pour le charbon en morceaux, l'installation se compose d'une batterie de filtres fermés comme en sucrerie. Lorsque l'action épuratrice du noir d'un filtre est épuisée, on cesse d'y envoyer l'alcool, on le vide de son liquide, on met ce filtre en communication avec un réfrigérant et l'on envoie de la vapeur dans le filtre pour chasser tout l'alcool impur qui imprègne le charbon, cet alcool est recueilli à part. Pour éviter les accidents d'explosion des filtres par excès de pression, il est bon de n'employer que la vapeur d'échappement de la machine. Le charbon est ensuite retiré, puis séché et revivifié.

La dessiccation exige les plus grands soins à cause de l'inflammabilité du charbon de bois. Il est presque impossible de faire ce séchage par les moyens employés en sucrerie pour le noir animal, c'est-à-dire sur des plaques métalliques à la partie supérieure du four. Pour la même raison, les fours continus à cornues verticales sont peu recommandables pour la calcination : le moindre défaut d'étanchéité au bas des cornues permet l'accès de l'air et brûle le charbon de bois.

Le meilleur procédé est la revivification dans des cornues en tôle analogues à celles employées à la distillation du bois dans les fabriques de pyroligneux. Le charbon est ainsi porté au rouge sombre et lorsqu'il y a été maintenu quelque temps, qu'on ne voit plus de dégagement de vapeurs au col de la cornue, on bouche ce col et on retire la cornue du four pour la laisser refroidir. Le charbon se refroidit ainsi à l'abri de l'air. Il ne faut pas pousser la température jusqu'au rouge vif, car on pourrait alors fondre certains sels insolubles provenant des cendres et qui obstrueraient les pores du charbon en diminuant son pouvoir épurant. Voilà tout le secret de la bonne revivification du charbon de bois.

Pour obtenir ce même résultat, quelques usines allemandes ont adopté la revivification par la vapeur surchauffée, à laquelle on a attribué toutes les vertus épurantes du charbon. Nous donnons ci-contre un croquis schématique de cet appareil (fig. 41).

Fig. 41.
Four allemand pour la revivification du charbon de bois par la vapeur surchauffée.

Le charbon à revivifier est introduit dans la cornue A par le couvercle *p*, on ferme le robinet *r* et l'on ouvre *e*, puis après avoir fermé le couvercle *p*, on laisse pénétrer pendant quelques instants la vapeur

par *a* pour chasser l'air par *e* et le tube *t* dans la cheminée. Cela fait, tout en maintenant dans la cornue un certain courant de vapeur, on fait circuler la vapeur surchauffée autour de la cornue par les carneaux *c* et *c'* d'où elle se rend à la cheminée en suivant le sens des flèches.

La vapeur est surchauffée à une température de 320° dans le surchauffeur R, et la température est indiquée par le pyromètre *i*. Un seul surchauffeur suffit pour plusieurs cornues que l'on dispose en général par paire, de façon que pendant que l'une est en chauffage, l'autre subisse les manœuvres de vidange puis de remplissage, en sorte que le surchauffeur ait un travail à peu près constant.

Lorsque la revivification est achevée, on arrête la vapeur que l'on dirige sur la cornue voisine, on ferme *e*, puis on ouvre *p* et le robinet d'air *r*. Il se forme un tirage dans la cornue et le charbon surchauffé s'enflamme spontanément, lorsque toute la masse est incandescente, on referme *r* et *p*, puis, par la porte à vis *v*, on reçoit le charbon dans des étouffoirs E. Il faut de 25 à 30 étouffoirs pour le service d'une cornue.

Nous avouons ne pas partager l'engouement que nos voisins montrent pour ce système ; l'installation en est coûteuse, le maniement délicat, et en somme, le charbon n'est pas mieux revivifié que dans les cornues en tôle à feu nu. Le seul avantage sérieux de la vapeur surchauffée serait d'obtenir une température fixe et de revivifier le charbon de bois sans crainte de le calciner ; mais du moment que la température atteinte n'est pas suffisante, et qu'il faut terminer l'opération par une période d'incandescence obtenue aux dépens du charbon de bois lui-même, le système devient fort sujet à critique.

On a cherché à augmenter le pouvoir épurant du charbon de bois par des traitements chimiques, en l'imbibant, par exemple, de solutions de carbonate de potasse ou de soude avant la revivification. D'autres personnes emploient des sels de magnésie. Si l'on cherche, par ces substances chimiques, à augmenter la porosité du charbon, le résultat obtenu dans ce sens

est très problématique. Si l'on veut, au contraire, doubler l'effet physique du charbon d'une action chimique, il serait peut-être plus rationnel d'employer directement le réactif dans le flegme où la dose sera plus facile à bien proportionner.

La seule opération logique à faire subir au charbon serait peut-être un lavage à l'acide chlorhydrique faible pour le débarrasser des dépôts de carbonate de chaux, qui peuvent s'y produire, lorsque l'on emploie des eaux calcaires au coupage du flegme.

Les meilleurs charbons à employer sont ceux provenant de bois légers, tels que le tilleul ou le fusain, mais ils sont souvent rares et chers. Le sapin bien cuit n'est pas mauvais, et, dans le Midi le platane. Quelle que soit l'essence du bois, la carbonisation en meules ne doit pas être acceptée, car elle est irrégulière et souvent incomplète. Il faut fabriquer le charbon de bois en cornues, comme dans les distilleries de pyroligneux, et le produit s'améliore beaucoup par les revivifications successives : c'est un fait indéniable.

L'action épurante du charbon, étant toute capillaire, il est évident que, toutes choses égales d'ailleurs, l'épuration produite, par un même poids de charbon, sera d'autant plus grande que ce charbon sera plus divisé et offrira une plus grande surface à l'alcool.

La grande durée du contact est un des principaux facteurs de l'épuration, ainsi que la température, qui doit être aussi basse que possible; s'il est nécessaire, on fait précéder la batterie de filtres d'un réfrigérant.

Enfin, comme le charbon exerce surtout son action sur les fusels, sur les éthers lourds, les huiles et les substances odorantes, son pouvoir épurant sera d'autant plus grand que la solubilité de ces corps dans l'alcool sera plus diminuée par l'addition d'eau. L'alcool à haut degré est encore plus avide d'odeurs que le charbon. On peut se rendre compte assez facilement de la lutte d'affinité qui se produit en prenant pour exemple un parfum très répandu, l'eau de Cologne.

Si l'on verse de l'eau de Cologne dans un verre d'eau, celle-ci devient opaline; ce sont les huiles parfumées qui, devenant très peu solubles dans l'alcool dilué, se précipitent. Filtrons un pareil mélange sur du

charbon de bois après contact suffisant, l'eau sortira limpide, et, en grande partie désodorée, sinon complètement. Réciproquement, si l'on recueille ce charbon sur le filtre, puis qu'on le remette en digestion avec de l'alcool à haut degré, on reconstitue l'eau de Cologne.

En résumé, les flegmes, soumis à cette épuration ne doivent pas titrer plus de 40° comme maximum, et il semble que 35°, soit le degré le plus favorable en pratique sans trop exagérer la dilution du flegme.

Comme il arrive souvent, on a voulu demander au charbon plus qu'il ne peut faire, et le charger d'éliminer aldéhydes, éthers et fusels, en un mot toutes les matières odorantes. C'est là une erreur de principe, puis surtout un erreur économique, car la filtration est une opération assez coûteuse.

Comme nous l'avons vu, les éthers et les fusels, et en particulier l'alcool amylique, s'éliminent très facilement par distillation fractionnée (**133**)

Il est donc plus rationnel d'enlever ces produits avant filtration, et de ne demander au noir que l'élimination des goûts et odeurs d'origine qui offrent la plus grande résistance à l'action des rectificateurs, puisqu'on en retrouve dans toutes les phases d'une rectification même bien conduite. Restreinte à ces proportions, l'action du noir est vraiment remarquable et très logique.

Pour les filtres à charbon en morceaux, l'on compte sur une dépense ou perte de charbon de bois d'environ 5 kilogrammes par hectolitre de flegme à 40°, et on immobilise un stock de charbon d'environ 300 kilogrammes par hectolitre de flegme et par vingt-quatre heures, tant dans les filtres qu'à la revivification (1). Ces chiffres mêmes ont été fréquemment doublés, surtout en Allemagne.

La freinte de filtration s'élève fréquemment à 2 et même 2,5 % de l'alcool épuré. Il y a donc un intérêt capital à réduire l'emploi du charbon au minimum. Ce desideratum est réalisé d'une part au moyen des colonnes rectificatrices, qui font très économiquement une

---

(1) J. Fritsch et E. Guillemin. — *Traité de la Distillation.*

épuration presque complète du flegme, et, d'autre part, par l'emploi du charbon en poudre, dont l'action épurante est bien supérieure. Dans ces conditions, la proportion de charbon fin peut descendre à 2 kil. 45 et même à 2 kilogrammes par hectolitre d'alcool 100 %, ce qui représente de 0 kil. 8 à 1 kilogr. par hectolitre de flegme à 40° pour obtenir une épuration remarquable. Comme le prix du charbon fin n'est que de 4 fr. 50, les 100 kilogrammes, cela représente environ 10 centimes par hectolitre d'alcool pur à 100°, et l'on peut se dispenser d'en opérer la revivification. Un de ces procédés, dû à M. Barbet, a été décrit en détail par son auteur dans la revue de *l'Alcool et le Sucre* (1).

MM. *René* et *Auguste Collette* ont également breveté un système d'emploi du charbon en poudre et de revivification. Le mélange de flegme et de charbon fin est filtré dans un filtre-presse à lavage. Le charbon qu'on en retire est distillé, puis revivifié dans un four à pots de petites dimensions. MM. Collette attachent une grande importance à la revivification, non pas en raison de la valeur du charbon fin, mais parce que le charbon devient meilleur au fur et à mesure qu'il est recuit.

Un autre procédé au charbon fin est celui d'*Iseli*. Le charbon est d'une nature spéciale ; il est calciné et revivifié en présence d'alcalis et de sels de magnésie. On le met dans des filtres en tôle de peu de hauteur et disposés en batterie ; le flegme y est envoyé avec une certaine hauteur de pression, et la circulation s'opère méthodiquement comme dans le système des filtres à charbon en morceaux. Même distillation à vapeur avant la recuisson dans un four à pots. Les inventeurs indiquent la recette pour l'emploi des lessives alcalines; le charbon est lavé à l'eau dans le filtre avant d'être mis en service, afin de dissoudre les sels qui garnissent les pores.

Quel que soit le dispositif employé, la filtration est un auxiliaire d'une efficacité incontestable, enlevant du premier coup des odeurs d'origine que l'on ne saurait

(1) Voir les dessins et explications de cette installation dans *l'Alcool et le Sucre*, 2e année, no 7.

sans cela enlever que par des extractions considérables de têtes et de queues, et qui souvent même nécessitent plusieurs repassages.

Ajoutons que cette filtration, en enlevant certaines âcretés mal définies, donne aux alcools un moelleux spécial qui augmente beaucoup leur valeur commerciale.

(154) *Épuration par les hydrocarbures.*

Comme désodorants, on emploie également les hydrocarbures, ou produits fractionnés de la distillation du pétrole brut. Ces produits ont en effet un pouvoir absorbant considérable, les uns pour les éthers, les autres pour les fusels et autres produits odorants de queue, en sorte que par passages successifs d'un flegme suffisamment dilué, à travers un ou plusieurs de ces hydrocarbures, on peut obtenir un flegme épuré qu'une rectification ultérieure amène à l'état d'alcool neutre. Une grande raffinerie d'alcool travaille par ce procédé, connu dans l'industrie sous le nom de système *Bang et Ruffin.*

Parmi les hydrocarbures, il en est un, la paraffine, qui a été recommandé depuis assez longtemps (1867). Son pouvoir absorbant est très remarquable, et a été utilisé par les parfumeurs; mais il est assez difficile de se procurer des paraffines exemptes d'odeur de schiste, et, d'autre part, il y a une certaine difficulté pratique d'emploi : par le fait que la paraffine ne fond que vers 55°, l'épuration doit nécessairement se faire à chaud, et il faut éviter toute déperdition d'alcool.

Malgré ces inconvénients, qui ne sont pas insurmontables, la paraffine reste digne d'attirer encore l'attention des chercheurs, et, à notre avis, la question aura fait un grand pas le jour où l'industrie fournira des carbures bien raffinés et exempts de toute espèce d'odeur ; c'est une condition préalable tout à fait nécessaire.

TROISIÈME PARTIE

PRATIQUE

CHAPITRE PREMIER

Les Eaux-de-vie.

(155) *Fabrication du vin.*

La matière première est ici le raisin.

Il est bon, en principe, de laisser le raisin mûrir autant que le permettent le climat et la saison. On remarque en effet qu'avant la maturité complète, le fruit possède une plus grande proportion de levure apiculée, qui est beaucoup moins favorable à une bonne fermentation. On comprend aussi que la richesse en sucre est plus grande, et par suite le rendement en alcool ; l'acidité du vin, qui reste sensiblement la même dans les divers cas, est due à l'acide tartrique et au tannin, favorables aux levures et à la conservation du vin, tandis qu'avant maturité l'acidité est due à divers acides gras ou pectiques qui sont plus propices aux fermentations secondaires.

D'autre part, quand ils sont trop mûrs, les raisins risquent d'être chargés d'un grand nombre de moisissures défavorables à la vinification.

Noirs ou *blancs*, les raisins doivent être *vendangés en blanc*, c'est-à-dire pour séparer le jus des râfles, aussi rapidement que possible avant fermentation, chaque fois que l'on vendange dans le but de faire des eaux-de-vie. La râfle, en effet, renferme des huiles à odeur désagréable, insolubles, ainsi que la couleur, dans l'eau ou le jus sucré, mais très solubles dans l'alcool développé par la fermentation. On trouvera les détails des procédés de vendange dans les traités d'œnologie et de viticulture. Nous nous bornons à insister sur ce fait que les eaux-de-vie renommées proviennent toutes de vins blancs, et que, pour un même crû, l'eau-de-vie d'un vin blanc est supérieure à celle du vin *cuvé sur râfles*.

Le jus, extrait du raisin par foulage et pression, est envoyé aussitôt à la fermentation. Il est bon de prendre

quelques précautions pour que l'encuvage se fasse à une température comprise entre 20 et 25° comme limites extrêmes et suivant les climats. Pour cela, dans les pays chauds, ou en saison chaude, on cueillera le raisin avant ou après l'ardeur du soleil; ou bien on refroidira le jus, ou encore on laissera refroidir le raisin coupé pendant toute une nuit avant de le fouler. Dans les pays froids on le chauffera au besoin.

Le vin blanc entre moins vite en fermentation spontanée que le vin cuvé sur râfles. Pour éviter les fermentations nuisibles ou lentes, il sera bon de se ménager *un levain* ou *pied de cuve*. Ceci est facile aujourd'hui que l'on trouve dans le commerce des levures pures de vins, et l'on choisira une variété de levures provenant de crus situés dans les mêmes conditions climatériques. Il sera même préférable de faire sélectionner et cultiver des levures récoltées les années précédentes sur les grappes de son propre crû. A défaut on préparera, quelques jours avant la vendange, un moût nutritif, soit avec des farines saccharifiées, soit avec un sirop de glucose additionné de maltopeptone, soit avec le jus de grappes plus hâtives, moût qu'on stérilise avec soin par ébullition, puis qu'on ensemence avec quelques grappes hâtives choisies *bien mûres* et *bien saines*, de façon que ce moût soit en pleine fermentation, au moment où commencera la vendange. C'est sur ce moût soutiré clair et en pleine fermentation, que l'on versera le moût venant du pressoir, en ayant soin de prélever une partie de cette cuve en fermentation pour servir de pied à la cuve suivante, etc. On obtient ainsi des fermentations presqu'aussi rapides et complètes que les fermentations industrielles.

Il est bon également de vérifier l'acidité du moût avant la fermentation. Cette acidité doit être d'au moins 1 gr. 5 d'acide sulfurique SO^4H^2 par litre, et être due en partie à de l'acide tartrique libre. S'il n'en est pas ainsi, on compléterait cette acidité par de l'acide tartrique. Pour faciliter les calculs de la quantité d'acide tartrique à ajouter, on remarquera que :

L'acidité en acide sulfurique $\times$ 1,53 $=$ acidité en acide tartrique ; et inversement celle-ci $\times$ 0,653 $=$

acidité en acide sulfurique. La table (58) donne les densités des solutions d'acide tartrique et leurs richesses.

Dans les pays chauds et dans certaines années, le raisin est si riche en sucre que tout ne peut fermenter, l'alcool produit arrêtant l'action des levures; et, malgré de nombreux tableaux d'analyses de vins qui ont été publiés, nous dirons que nous n'avons jamais rencontré un vin de simple fermentation à plus de 15 % d'alcool, même après fermentation basse de l'hiver.

Les vins d'un titre plus élevé tels que le Madère, le Grenache, le Moscatel, le Malaga; etc., sont le produit d'un vinage ou *mutage*.

Aussi, dans ces pays, devra-t-on toujours procéder à un dosage préalable du sucre dans le moût, et si la richesse dépasse 22 à 23 grammes de glucose par 100 c.c., le ramener à cette richesse par coupage à l'eau avant fermentation. On obtient avec cette teneur en sucre un vin titrant de 13 à 14° alcooliques sans sucres, et se conservant bien. Ces degrés élevés cependant ne s'obtiennent pas par la simple fermentation haute.

Les levures de vin ne sont pas en effet formées, pour chaque crû, d'une seule variété de levures, mais d'un mélange de levures hautes et basses, et lorsque les premières se trouvent arrêtées dans leurs fonctions vitales, la fermentation paraît cesser, les cuves tombent. Le vin est alors soutiré, aussi clair que possible, dans des fûts, ou mieux dans des foudres, pour passer l'hiver. Une fermentation basse et lente se déclare, à peine visible pendant l'hiver, un peu plus active avec le retour de la chaleur du printemps, *avec la sève* suivant le terme des vignerons, puis cette fermentation elle-même s'arrête, tout le sucre étant transformé en alcool.

On soutire alors de nouveau le vin pour le soustraire à l'influence des lies, formées en grande partie par les cellules de levures mortes ou épuisées, qui ont entraîné avec elle des sels devenus insolubles, des matières organiques, et principalement des cellules ou spores de micodermes et mucédinées. Or, tant que les levures, en vivant, ont maintenu un milieu d'acide carbonique, ces derniers germes n'ont pu se développer; mais, grâce à l'air qui maintenant peut rentrer dans

les fûts, ils retrouveraient un milieu favorable si on ne les éliminait par ce soutirage. Il est même bon de compléter ce soutirage par une filtration, quelquefois même par un collage.

Pendant que la fermentation s'est achevée, les arômes ont commencé à se former, les acides se sont éthérifiés, le bouquet a commencé à se développer, mais ce bouquet ne se complètera que par l'action oxydante de l'air qui, agissant sur certains glucosides et sur certains terpènes les transformera en produits odorants. Telle la coniférine se tranforme en vanilline, l'aldéhyde en acétal, etc. Aussi, pour la fabrication des eaux-de-vie fines, est-il bon d'attendre encore au moins six mois en fûts et mieux un an avant de procéder à la distillation.

Mais pour conserver un vin pendant ce temps, et plus encore pour les vins fins de consommation directe, il est indispensable que le vin soit assez riche en alcool pour le mettre à l'abri des maladies que facilite la présence de l'oxygène ; et dans les années de mauvaise maturité cette richesse alcoolique serait parfois insuffisante. Aussi le vigneron distille-t-il de suite une partie de sa récolte, pour trouver l'alcool nécessaire au vinage, et il fait cette distillation immédiate sur ses vins plats, sès vins piqués ou ses marcs.

Nous verrons plus loin le traitement de ces derniers, mais pour les vins plats ou piqués on peut encore en tirer un très bon parti, et en obtenir des alcools de coupage, gardant même tout le goût de vin sans goût de *piqûre*.

Cette *piqûre* étant due principalement à la fermentation acétique, le vin sera avant distillation additionné de chaux ou de carbonate de potasse ou de soude, mais en quantité insuffisante pour saturer complètement les acides libres. On doit toujours laisser une certaine acidité, visible au papier de tournesol, pour éviter les productions d'ammoniaque ou d'autres bases plus désagréables, qui, outre leur odeur propre, sont le meilleur dissolvant du cuivre et donnent ce *goût de cuivre* si redouté des bouilleurs. D'autre part, les acides libres, étant en majeure partie saturés, ne pourront à chaud s'éthérifier aux dépens de l'alcool en augmentant la proportion des produits de tête.

(156) *Distillation des vins*

La distillation des vins dans le but d'obtenir des

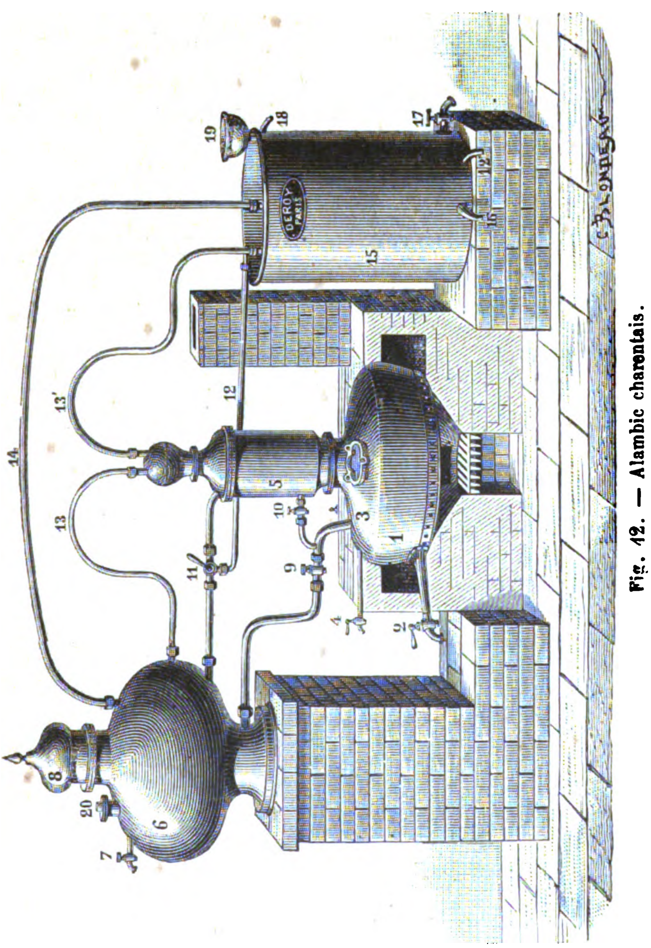


Fig. 12. — Alambic charentais.

eaux-de-vie fines est des plus simples, lorsqu'on veut ensuite soumettre l'alcool à un long vieillissement,

ainsi que cela se pratique dans les Charentes. Il suffit en effet de distiller le vin jusqu'à épuisement des vinasses de façon à obtenir un alcool à 70 degrés environ.

C'est ainsi, en somme, qu'opèrent les Charentais avec leur alambic simple. Ils commencent par faire dans l'alambic trois distillations successives de vin, cu trois chauffes, d'où ils tirent les *brouillis*; ces trois brouillis, ou flegmes bruts, sont réunis et remis dans

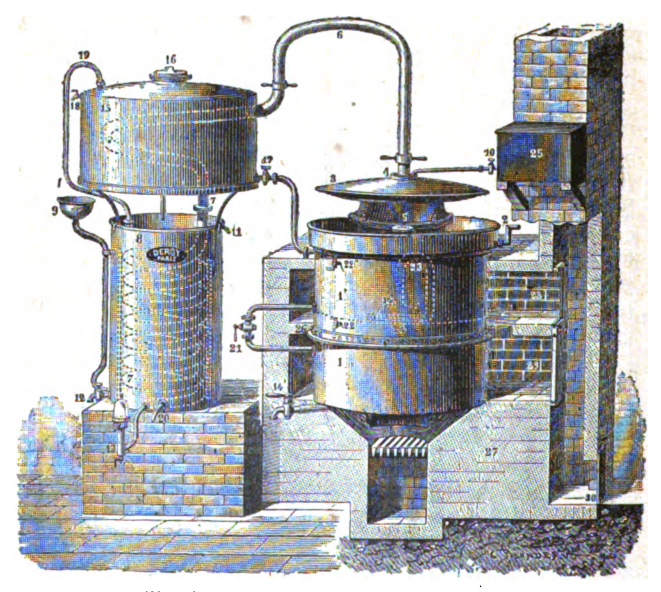


Fig. 43. — Alambic Deroy à triple chauffe.

l'alambic où ils subissent une seconde distillation, dite *bonne-chauffe*, donnant l'eau-de-vie à 70 degrés environ.

Pendant cette bonne chauffe, ils retirent, à la vérité, les têtes et les queues, mais comme ils ont bien soin de les repasser dans les vins qui serviront à faire les brouillis suivants, tout se passe en somme comme s'ils n'extrayaient rien du tout. A moins pourtant que les produits impurs soient précisement ceux qui consti-

tuent la freinte de 4 à 5 % que l'on constate dans ce pays ? Nous en doutons.

Cette freinte considérable en simple distillation, est un argument de plus à ajouter à ceux qui nous ont été fournis par la comparaison des dépenses de combustible des colonnes à distiller, avec les dépenses de la distillation simple qui devrait être abandonnée.

De même pour le mode de chauffage des appareils à feu nu ou à la vapeur, ce dernier sera toujours plus économique et plus régulier, et devrait être le seul employé. Pourtant le feu nu est encore avantageux pour les petites installations, mais à condition que la chaudière soit surmontée d'une colonne continue (fig. 49) ou d'un dispositif spécial, tel que celui représenté fig. 43 pour le chauffage de l'alambic Deroy, en sorte que l'alcool ne parvienne jamais à la chaudière. Sinon le seul résultat du feu nu est d'exposer aux coups de feu en brûlant beaucoup plus de combustible ; nous avons maintes fois vérifié le fait par nous mêmes, aussi bien sur les vins que sur les rhums, et toujours, comme dépense et qualité de produit, l'avantage est resté au chauffage à vapeur.

Toute bonne colonne à distiller à haut degré, permettant d'obtenir l'eau-de-vie à 65 ou 70°, sera suffisante, chauffée au feu nu ou à la vapeur ; mais, dans ce dernier cas, il faut la choisir chauffée par serpentin ou par caisse tubulaire, et non pas par barbotage, car la vapeur venant de la chaudière pourrait communiquer à l'alcool ses odeurs empyreumatiques ou d'huiles brûlées, cette odeur plate et fade remarquée par tous ceux qui ont senti des eaux de retour. Enfin, cette vapeur de barbotage diluerait les vinasses et par suite les arômes.

Nous ne pouvons ici entrer dans de grands détails sur les alambics ordinaires, tous dérivent plus ou moins directement de l'alambic Charentais ou des appareils continus Adam déja expliqués, témoin les spécimens des maisons Egrot, Deroy, Lepage, Bréhier, Besnard, etc.

Tous ces appareils se distinguent les uns des autres par quelques ingénieux détails de construction destinés surtout à en faciliter la manipulation aux petits bouilleurs, suivant les diverses matières à traiter.

C'est ainsi que chacun s'est ingénié à perfectionner le mode de fermeture des couveroles, les dispositions de bascule des appareils pour le travail des matières épaisses, les chauffages à bain-marie, etc.

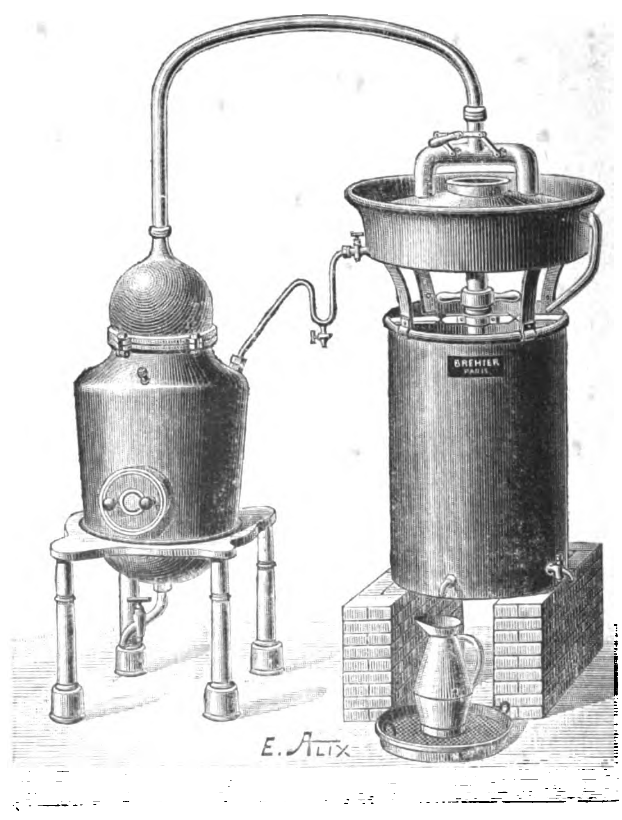


Fig. 44. — Alambic Bréhier chauffé par la vapeur.

La figure 44 représente un alambic chauffé par la vapeur, disposition fort avantageuse pour les bouilleurs possédant une chaudière à vapeur, ce qui n'est pas rare aujourd'hui dans les installations agricoles. Cette dis-

position se prête en outre à la fabrication des alcoolats, anis, absinthe, etc.

La figure 45 représente un tout petit appareil applicable surtout aux plus petites installations, aux bouilleurs qui distillent les produits de leur jardin, de très petites quantités de vin, etc. ; un ingénieux petit régulateur représenté à part (fig. 46) facilite la surveillance en permettant au distillateur de vaquer à d'autres occupations. Il faut avec cet alambic travailler des liquides clairs, on les filtrera donc s'il est nécessaire avant distillation.

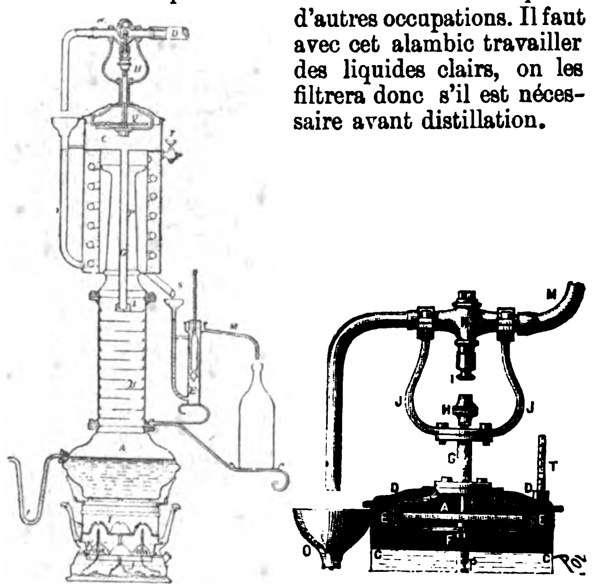


Fig. 45. — Alambic Besnard. Fig. 46. — Régulateur Besnard.

Le degré de 65 à 70° est indispensable pour les eaux-de-vie de grande marque, qui devront séjourner de 5 à 10 ans en fût pour vieillir avant d'aller à la consommation, telles les fines champagnes.

Pour d'autres crûs, encore très fins mais de valeur moindre, tels que les Armagnac et les troisièmes Bois des Charentes, qui ne sauraient supporter les frais de magasinage et surtout la perte d'évaporation en fûts, on les coupe immédiatement à 45 ou 50° avec de l'eau

distillée qui, pour être pure de toute odeur, gagne à être produite dans un appareil spécial ne pouvant lui donner aucun goût de cuit, tel celui de la figure 47. Les eaux-de-vie ainsi coupées semblent vieillir plus

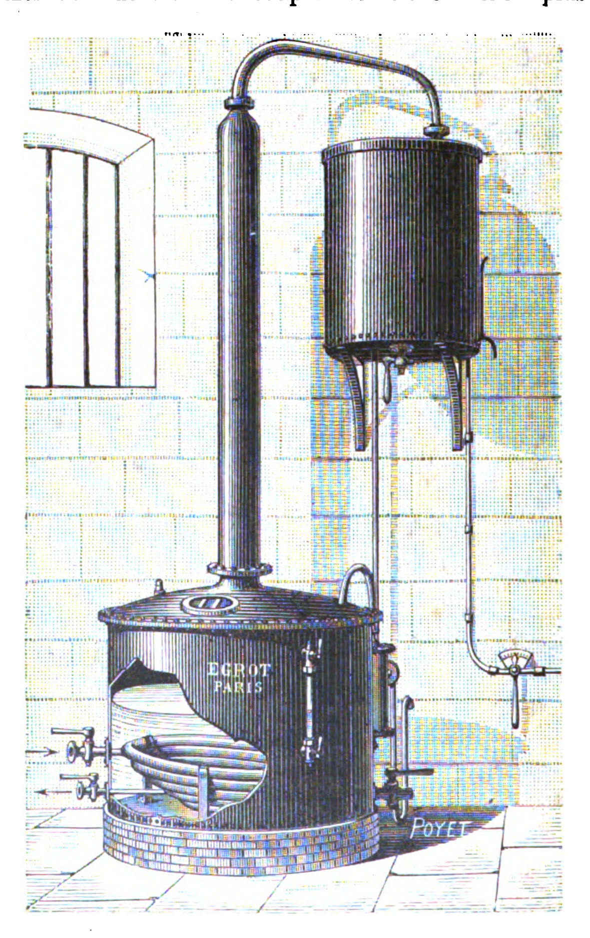


Fig. 47. — Appareil à distiller l'eau, à alimentation constante et automatique, chauffé par la vapeur.

vite, mais ne peuvent atteindre au degré de finesse des premières. Elles sont livrées à la consommation au bout d'un an ou un an et demi. Il semblerait donc à première vue plus avantageux de les distiller de suite à bas degré, pour éviter les frais de cette distillation d'eau et les manipulations de coupage ; car, ainsi que nous l'avons vu pour les consommations de vapeur des colonnes, la dépense est sensiblement la même pour produire l'alcool à bas degré ou à haut degré jusqu'à 92°. Mais on a plus d'avantage à distiller à haut degré parce que l'on peut arriver ainsi à purifier l'eau-de-vie et à affiner son parfum, ainsi que nous en avons déjà dit quelques mots (**150**).

Voyons un peu ce que c'est que les bouquets et arômes naturels, et comment on peut les capter et les faire ressortir.

Les eaux-de-vie diverses, *Cognac*, *Rhum*, *Kirsch*, etc., atteignent une valeur commerciale élevée lorsqu'elles proviennent de matières premières de bonne qualité, et que la fermentation a été faite dans des conditions convenables. Mais, quelque réputé que soit un crû et quelque soin que l'on ait apporté à la fabrication, l'eau-de-vie contient toujours quelques imperfections qui sont de même nature que celles qui existent dans les flegmes d'industrie. On y trouve notamment, en quantités variables : des aldéhydes, de l'éther acétique (piqûre), et des alcools supérieurs.

Il ne faut pas croire que ces imperfections, par le fait qu'il s'en trouve toujours un peu dans les meilleurs produits, fassent partie intégrante *obligatoire* des bonnes eaux-de-vie, et concourent à leur donner leur cachet et leur finesse. Si l'on isole les aldéhydes ou les alcools supérieurs d'une eau-de-vie de prix par des fractionnements répétés, l'on constate que ces corps, une fois isolés, possèdent par eux-mêmes exactement la même odeur âcre ou nauséabonde qu'on leur connaît dans les flegmes ou alcools industriels. Donc, il faut bien admettre que l'eau-de-vie dont on les a extraits, était agréable *quoiqu'impure*, mais non pas du tout *parce qu'impure*.

Pour les mauvaises eaux-de-vie, le seul remède connu jusqu'ici était la rectification proprement dite,

mais cette rectification, en même temps qu'elle enlevait les impuretés, sacrifiait les bonnes odeurs qui faisaient la supériorité de l'eau-de-vie.

L'on a pendant longtemps prétendu que l'on ne pouvait obtenir de bonnes eaux-de-vie en distillation continue ; les produits n'étaient pas assez *pleins* et manquaient de certains arômes.

Il faut remarquer que les Charentais, lorsqu'ils distillent de bons vins, ont grand soin de pousser l'opération jusqu'à épuisement total, et que les dernières petites eaux sont très parfumées.

Les bouquets naturels, constitués en majeure partie par des sortes d'huiles végétales dont le point d'ébullition est élevé, ne sont pas faciles à expulser totalement du vin. En effet, si après une distillation à l'alambic, on rajoute de l'alcool pour faire une distillation nouvelle, l'eau-de-vie obtenue emporte avec elle une nouvelle proportion de parfums, qui avaient résisté à la première opération.

Il y a donc lieu de tourner la difficulté pour les appareils continus ; M. Barbet en a indiqué le moyen. Il suffit de prélever de la vapeur sur le soubassement des colonnes distillatoires continues ; si le vin est de bonne qualité, et si les huiles amyliques ont été soigneusement extraites, on obtiendra un liquide aromatique, dont l'odeur sur le moment même n'est pas toujours agréable, mais qui se modifie au bout de quelques jours de contact à l'air et en présence de l'alcool.

Il faut marier cette eau parfumée, qui est généralement un peu acide, avec l'eau-de-vie pasteurisée du haut de l'appareil. Pour y arriver, voici la disposition adoptée par M. Barbet : l'*alcool pasteurisé* bouillant extrait de la colonne (fig. 48) par le robinet M vient tomber dans une boîte en cuivre S où il est à nouveau vaporisé par un barbotage de vapeurs parfumées prélevé sur le soubassement de la colonne ou chaudière K, barbotage dont on règle l'intensité par le robinet *m*, à l'entrée de la boîte à parfumer. Ces vapeurs d'alcool pur et de parfums mélangées, passent ensuite seulement au réfrigérant D, puis de là à l'éprouvette P où l'on recueille, non plus de l'alcool pur, mais de l'eau-de-vie parfumée sans éthers ni fusels à laquelle il ne manque

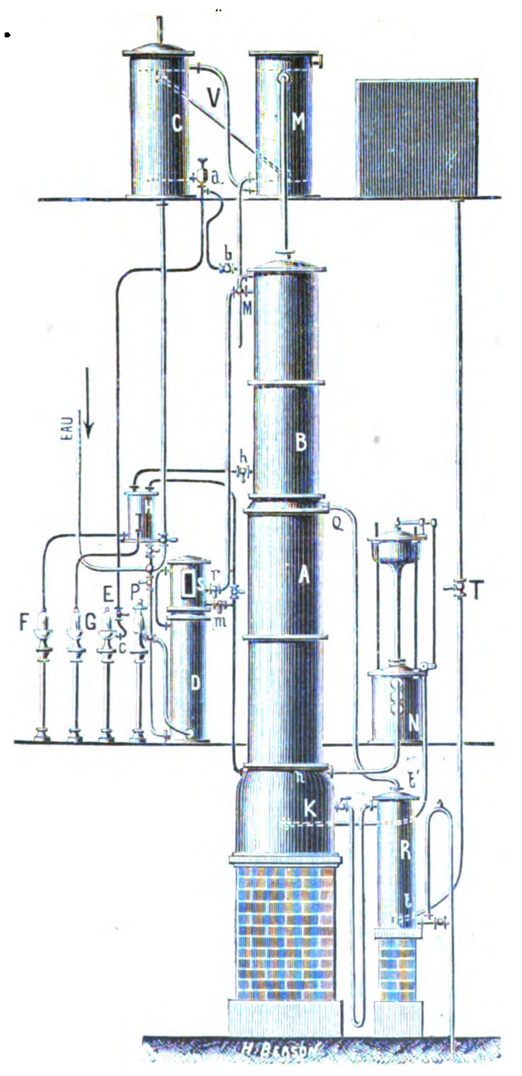


Fig. 48. — Colonne à pasteurisation pour eaux-de-vie et rhums.

pour être vieille que le *goût de bois*. C'est bien pour cette disposition que le terme de *pasteurisation* appliqué par l'inventeur se trouve justifiée.

On aurait pu obtenir le même résultat en recueillant d'une part l'alcool pasteurisé, d'autre part les eaux d'épuisement de l'éprouvette G, et s'en servant pour faire le coupage au degré de vente. Cette solution est bonne aussi et nous l'avons appliquée fréquemment ; mais, en général, ces eaux ou vapeurs parfumées sont légèrement acides, et dans ce cas, par le mélange à chaud des vapeurs avec l'alcool, l'éthérification se fait instantanément, tandis que par le mélange à froid elle demande un peu plus longtemps.

Qu'on ne nous accuse pas ici de reformer des éthers après nous être efforcés de les enlever par *pasteurisation*. Ces éthers, dans le cas des eaux-de-vie de fruits, font pour ainsi dire partie intégrante des parfums, et ceux que nous avons reformés sont purs, tandis que ceux que nous avons éliminés étaient souillés d'aldéhydes, d'acroléines, etc., produits nuisibles et infects.

Pour les petites productions, M. Barbet a combiné un appareil à hauteur réduite (fig. 60), en se servant d'un type spécial de plateaux à emboîtements étudiés par la maison Crépelle-Fontaine. Le récupérateur de chaleur sert de socle aux tronçons à plateau. Tous les détails d'ensemble ont été étudiés d'une façon spéciale et forment un appareil facile à installer n'importe où, et remarquable par la sûreté de sa marche. Il peut servir à tous les besoins des bouilleurs de crû, c'est-à-dire pour vins de toutes qualités, épuration de marcs, etc.

Enfin la figure 49 représente une colonne-épuratrice à feu nu. Les principes restent toujours les mêmes, et si le feu nu est un peu plus difficile à diriger que le chauffage à vapeur, en revanche le réglage du coulage donne de grandes commodités pour mettre l'appareil au point.

Nous tenons à insister sur ce fait que l'appareil ci-contre, de même que tous les appareils similaires à vapeur, permet de produire l'alcool pasteurisé à tel degré que l'on désire.

Lorsque l'on met l'appareil en route, on ne fait pas

d'extraction de pasteurisé jusqu'à ce que l'éprouvette des têtes marque le degré que l'on désire ; si l'on ne veut que du 88°, au bout de très peu de temps l'appareil sera au point, car cela ne nécessite qu'un très faible stock d'alcool sur les plateaux.

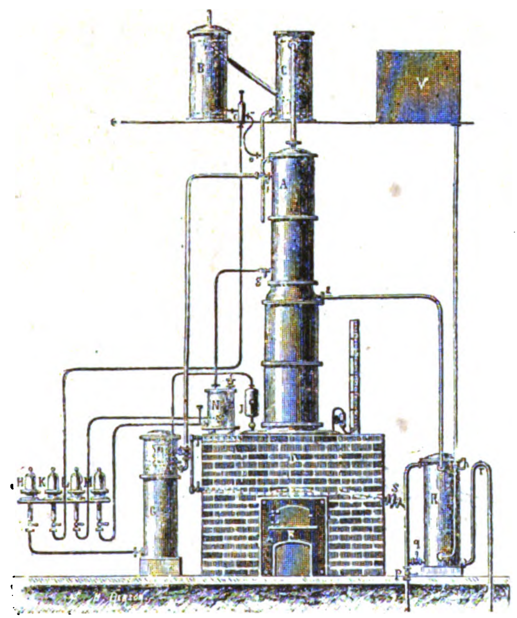


Fig. 49. — Colonne à Pasteurisation à feu nu, système Barbet.

Si l'on veut atteindre 94 ou 95°, il faudra au contraire une période de mise en train assez longue, qui pourra dépasser une heure, période pendant laquelle tout l'alcool, entré sous forme de vin, vient s'accumuler dans les plateaux supérieurs, grâce à la rétrogradation totale.

Au moyen de ce stock, et du classement par degrés qui se fait sur chaque plateau, on arrive aux hauts degrés que l'on désire. L'opérateur peut donc régler son pasteurisé pour le degré qu'il reconnaît comme le plus favorable à la nature du vin à distiller.

Une des odeurs les plus redoutées dans les eaux-de-vie est l'odeur de vinasse, que donnent certains vins du midi et de l'Espagne, et que l'on rencontre surtout dans les eaux-de-vie de lies. Il semble que cette odeur résulte principalement de la présence des mauvaises levures; on retrouve cette même constatation, dans les fabriques de levure pressée, à la distillation des petites eaux de levure qui produisent toujours des odeurs détestables.

Quand on distille des vins défecteux, il faut faire grande attention à cette odeur de vinasse. L'on peut se trouver dans l'impossibilité d'utiliser les vapeurs parfumées qui s'écoulent à l'éprouvette M, car elles sont parfois fort déplaisantes. On ne se débarrasse alors de la mauvaise odeur, au pasteurisé lui-même, qu'en atteignant 94°.

On dira peut-être qu'à ce degré, l'on sacrifie volontairement la majeure partie des bons arômes coexistants. Il n'en est rien.

Les odeurs volatiles sont peu solubles dans l'alcool à bas degré des plateaux inférieurs d'épuration. Elles sont au contraire extrêmement solubles dans l'alcool à 94°, même bouillant, et sont retenues énergiquement sur les plateaux supérieurs par l'alcool pasteurisé.

Celles qui passent avec les vapeurs alcooliques au condenseur, sont ramenées à la colonne par la rétrogradation qui, dans le système de M. Barbet, est presque *totale*, de sorte qu'en somme il ne s'en échappe guère.

Aussi remarque-t-on ce fait que, même à 94°, les eaux-de-vie conservent un tel bouquet qu'elles peuvent facilement être dédoublées.

Il n'y a aucune exagération dans cette affirmation, et l'on peut très bien en comprendre les causes. M. Barbet a fait remarquer, dans ses divers ouvrages sur la question, que les aldéhydes et les fusels, par leur odeur intense, jouent un très grand rôle dans la qualité des eaux-de-vie, et qu'il faut dans celles-ci une dose très importante de bons arômes naturels pour masquer et oblitérer l'odeur amylique qui est nauséabonde. Les produits de tête et les huiles extraits de la colonne à pasteurisation sont absolument infects, et l'on se de-

mande comment les consommateurs peuvent boire des eaux-de-vie renfermant des odeurs telles que celles qui sortent des alambics simples ; ils le font parce que le bouquet domine le tout.

Aussi, lorsque l'on a extrait les huiles et les éthers, le bouquet, qui est resté, apparaît beaucoup plus dominant encore et même exagéré. L'absence d'impuretés fait ressortir les arômes. Il y en a sans doute moins, mais il en paraît davantage. Voilà toute l'explication du phénomène.

Ce même appareil est également employé avec avantage pour la distillation des cognacs fins, dont il permet de diminuer considérablement le temps de vieillissement et par suite les pertes.

On n'est pas encore bien fixé sur tous les faits du vieillissement en fûts. Les seuls points bien acquis sont que, d'une part l'eau-de-vie prend au bois un certain nombre de produits extractifs que ne sauraient lui donner aucun appareil distillatoire, d'autre part il se produit dans le fût des phénomènes d'oxydation qui transforment les aldéhydes en acétal et éther acétique, puis une oxydation d'un produit spécial de la classe des terpènes ou térébènes et des glucosides, corps qui, par cette oxydation en présence d'alcool, prennent une odeur agréable et forment, avec l'éther œnanthique, le véritable arôme du cognac.

Si donc on enlève préalablement les aldéhydes, l'action oxydante de l'oxygène se portera plus facilement sur le terpène dont la transformation sera plus prompte. Nous ne voyons même aucun inconvénient à ce que l'on enlève une partie des fusels, car on aura beau nous répéter que : « le coefficient d'impureté d'une eau-de-vie n'a aucun intérêt commercial, puisque, suivant M. E. Mohler (1), une eau-de-vie naturelle a un coefficient d'impureté cinq fois plus élevé qu'une eau-de-vie de fantaisie », nous ne pouvons admettre que le même fusel, nuisible dans l'alcool ordinaire, devienne agréable et hygiénique dans l'alcool de raisin. D'ailleurs les faits sont là, et l'expérience a prouvé que les alcools, ainsi purifiés par extraction des produits de tête et des

(1) C.R. *Académie des Sciences*, CXII, 53, 1891.

fusels, vieillissent beaucoup plus rapidement que les autres et sans rien perdre de leur finesse et de leur arôme.

Il ne s'agit d'ailleurs pas de procéder en ce cas, à une extraction complète de ces impuretés auxquelles le palais des consommateurs est habitué. On en arriverait à être obligé de rajouter de ces impuretés après coup comme nous avons vu (**87**) qu'avait dû le faire la Régie Suisse pour l'huile de pomme de terre. Cela prouve que des goûts et des couleurs on ne peut discuter, et qu'il faut avant tout produire au goût du consommateur. Aussi n'irons nous pas plus loin sur ce sujet qui nous entraînerait à parler des eaux-de-vie factices et de leur amélioration, recettes qui sortent du cadre de cet ouvrage et sont du domaine du distillateur-liquoriste.

Utilisation des résidus.

Les résidus de la fabrication du vin et des eaux-de-vie de vin sont : les marcs, les lies et les vinasses, qui ne sont pas sans valeur, et peuvent donner lieu à des traitements divers suivant l'importance et la nature de l'exploitation.

(**157**) *Traitement des marcs*

1° Marcs de vins blancs. — Les marcs de raisins vendangés en blanc, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, ne peuvent au sortir du pressoir avoir subi qu'une fermentation insignifiante ; ils sont donc exempts de goût de marc, mais encore chargés en sucre et autres principes solubles du raisin. La meilleure manière d'en tirer parti est de les soumettre à une macération, ou diffusion, analogue à celle que nous verrons pour les betteraves ; mais ici, les appareils peuvent être bien simplifiés, car il suffit de 6 à 12 grands fûts suivant l'importance du travail, et d'autant de tuyaux de cuivre pour obtenir un bon résultat pratique. Ces fûts sont disposés en cercle, ou sur deux lignes, de façon à former une chaîne fermée. Le schéma (fig. 50) donne

les détails de la disposition la plus simple. Chaque tonneau est relié au suivant par un tube de cuivre et un manchon en caoutchouc *b* ; une pince *p* permet de serrer ce caoutchouc pour isoler un diffuseur de la circulation.

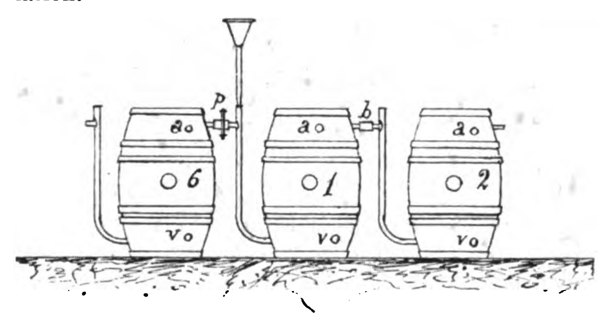


Fig. 50. — Diffusion des marcs.

Pour procéder à la diffusion, le marc sorti du pressoir est détassé, puis introduit dans les tonneaux successivement. On fait arriver par l'entonnoir de l'eau chaude qui circule de vase en vase en s'enrichissant. Dans la position indiquée sur le schéma ci-contre, l'eau arrivant sur le n° 1 passe successivement sur les fûts 2, 3, 4 et 5 d'où on le soutire par une cannelle *a* placée quelques centimètres au-dessous du tuyau *b*. Pendant ce temps on vide le tonneau 6, par la cannelle inférieure de vidange *v*, du liquide épuisé qu'il renferme et l'on remplace le marc épuisé par du marc frais.

A ce moment, on transporte l'entonnoir et la pince *p* sur le fût suivant, de façon à faire arriver l'eau sur le n° 2, on ferme la cannelle de soutirage *a* du n° 5 et l'on ouvre celle du n° 6 ; puis on procède à la vidange et au remplissage de marc frais du n° 1. Il faut régler le débit de l'eau de telle façon que la quantité de jus soutirée de chaque fût, corresponde au moins à la quantité de liquide que contient le fût.

En opérant ainsi on obtient un jus contenant 7 à 8 % de sucres, très propre à la fermentation et que l'on peut faire fermenter seul et distiller de suite, car les piquettes se conservent mal ; ou mieux, ajouter aux vins

de qualité secondaire que l'on destine au brûlage immédiat pour le vinage des meilleures qualités. Ces vins ainsi affaiblis fermentent plus vite et complètement en cuves, sans qu'on ait besoin d'attendre le mois de mars, et peuvent fournir de vin les appareils à distiller pendant les mois d'hiver.

Le marc ainsi épuisé peut être utilisé pour la nourriture des moutons; les pépins, préalablement écrasés, sont une très bonne nourriture pour la volaille. On peut également le laisser sécher pour le brûler sur les grilles des chaudières, ou le mélanger aux engrais, suivant les besoins de l'exploitation.

2° MARCS DE VINS ROUGES. — Le procédé précédent a le défaut, pour de nombreuses exploitations où la main-d'œuvre est rare, de nécessiter le travail supplémentaire de la diffusion immédiate, juste au moment où, pour la vendange et le pressoir, on a besoin de tout son personnel. Aussi se contente-t-on souvent de le traiter comme le marc de vin rouge. Au sortir du pressoir on met le marc en fosses, après l'avoir détassé pour l'aérer ; ces fosses cimentées, sont ensuite recouvertes d'une couche de 25 à 30 centimètres de terre fortement tassée. D'autres fois on le tasse fortement dans des tonneaux que l'on remplit ensuite d'eau, ou de vins faibles, et que l'on conserve au frais.

La fermentation se déclare spontanément, et l'acide carbonique dégagé préserve le marc qu'il baigne d'une altération trop rapide. On peut ainsi conserver le marc d'une année sur l'autre. La fermentation terminée, on peut procéder à la distillation qui, portant ici sur des matières solides, ne peut plus se faire dans les appareils continus. On a recours à des alambics simples munis d'un faux-fond, ou mieux à la distillation à vapeur dans un appareil à plusieurs vases, tel que celui indiqué par la figure 51, dont le fonctionnement est bien connu. La vapeur directe arrive dans le premier vase, et ce sont les vapeurs alcooliques qu'elle dégage qui, passant dans les chaudières suivantes, vont s'y enrichir en commençant l'épuisement des marcs plus riches. C'est en somme une sorte de diffusion à vapeur avec enrichissement méthodique.

A la fin de l'opération, il est bon de soutirer à part l'eau qui baigne le marc épuisé, et de la joindre aux vinasses, car cette eau est riche en tartre.

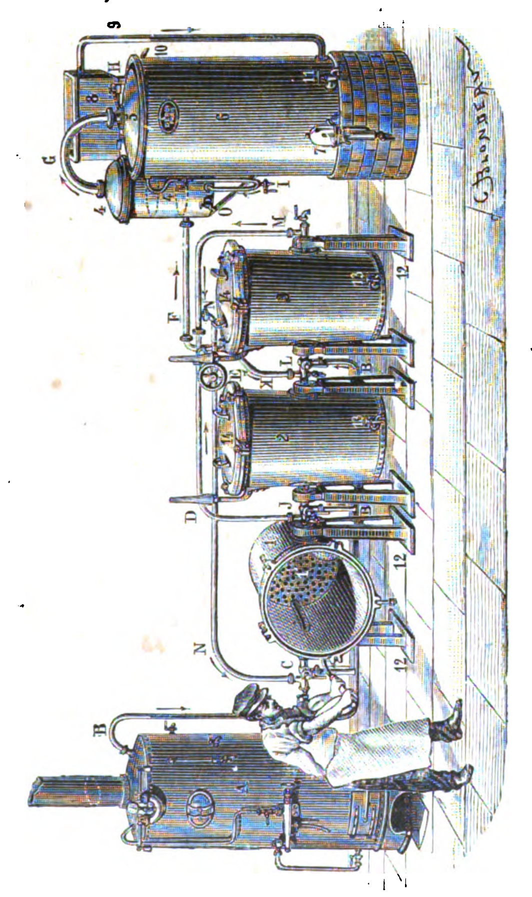


Fig. 51. — Appareil à distiller les marcs, système Deroy.

Les marcs épuisés ne sont plus propres ici à la nourriture des animaux, on pourra les mélanger aux fumiers ou les faire sécher pour brûler.

Ce procédé donne de moins bons produits que le

procédé par diffusion. En effet, l'alcool a eu le temps de dissoudre toutes les huiles essentielles de la râfle, et en outre l'effet pernicieux des fermentations secondaires donne en général naissance à une forte proportion d'éthers et de fusels qui nécessitera une purification, ou même une rectification, selon les cas. Pour la purification l'on emploiera avec succès l'appareil universel à vapeur (fig. 48), mais en deux opérations successives. La première fois, l'on réduit le marc à 20 ou même 15°, et l'on fait une épuration-pasteurisation, comme nous l'avons expliqué (**149**). C'est-à-dire que l'on extrait en tête les aldéhydes très concentrées, et au bas des plateaux d'épuration le marc épuré pasteurisé à environ 35°. Il est alors très louche, et l'odeur amylique y domine d'une façon fort déplaisante. Il a néanmoins perdu une grande quantité d'odeurs trop fortes, en même temps que ses aldéhydes et sa piqûre.

Par une deuxième distillation, on soutire un trois-six pasteurisé à 94°, doux et assez pur chimiquement, (il décolore le permanganate en plus d'une minute). Néanmoins , il conserve une très bonne odeur de pépin, qui apparaît plus nette et plus intense que dans le marc brut. Ce trois-six peut avantageusement être dédoublé pour faire une eau-de-vie de marc vieille et hygiénique.

(**158**) *Traitement des lies.*

Les lies peuvent être avantageusement passées au filtre-presse, et alors le vin qui en découle rajouté au vin soutiré. On obtient ainsi des tourteaux que l'on fait sécher le plus rapidement possible pour les vendre aux fabriques d'acide tartrique.

Mais, le plus souvent, on recueille cette lie semi-liquide dans des fûts, pour la distiller ensuite. Cette distillation doit être faite aussi vite que possible, pour éviter les fermentations secondaires et putrides qui se développeraient rapidement dans ce milieu chargé de matières azotées et organiques.

La distillation se fait alors dans un alambic analogue à celui que nous avons indiqué pour les marcs, et le flegme ainsi obtenu est rectifié. Les lies, étant particulièrement riches en tartre, le résidu de la distil-

lation est filtré à chaud, au sortir de l'alambic, sur un tamis de crin qui retient les plus grosses impuretés, puis soumis au refroidissement spontané dans des fosses où se déposent les cristaux de tartre brut souillés d'impuretés.

On décante la partie liquide qu'on joint aux vinasses, et le dépôt mis en sacs est égoutté et séché le plus rapidement possible, et vendu comme tartre brut.

Souvent aussi, après un tamisage qui retient les grains et pépins, on délaie la lie avec de l'eau et de l'alcool d'industrie; on distille le mélange dans une colonne à pasteurisation, et l'on obtient ainsi une eau-de-vie extrêmement riche en éther œnanthique. ce qui la fait tout particulièrement estimer, surtout si elle provient de lies de vin blanc.

Les lies de vins rouges ne peuvent fournir que des eaux-de-vie assez médiocres.

(139) *Traitement des vinasses.*

Nous rappelons pour mémoire, qu'avec certains vins de bonne qualité, les vinasses ne sont point épuisées de bons arômes; au lieu de les rejeter, on envoie dans l'alambic une certaine quantité de trois-six d'industrie, et l'on distille à nouveau.

On produit ainsi un cognac de second jet, encore très bon, quoique inférieur au véritable. Ce n'est pas ici le lieu de discuter si cette opération constitue ou non une fraude; nous nous bornons à signaler cet emploi fréquent.

Les vinasses renferment aussi de nombreux sels azotés, acide phosphorique, potasse, etc. Donc, suivant les principes de la culture moderne, on devra les utiliser pour l'arrosage des vignes, de façon à restituer au sol les produits enlevés par la récolte. En outre, les vinasses renferment de l'acide tartrique libre ou combiné, à l'état de bitartrate de potasse. Selon la nature du vin, et la région, ce dernier sel domine, et parfois cristallise spontanément dans les bacs de décantation des vinasses, car il est peu soluble à froid. Dans ce cas, on le recueillera tel quel, si la proportion en vaut la peine, pour le joindre au tartre brut des lies.

Dans d'autres endroits, la proportion de potasse est trop grande ou trop faible pour former le bitartrate, et il reste dans les vinasses de l'acide tartrique, libre ou combiné à l'état de tartrate neutre, et qui serait perdu. On peut alors saturer les vinasses à l'aide d'un lait de chaux, avant de les envoyer aux fosses de décantation où elles se refroidissent; l'on recueille ainsi un dépôt de tartrate de chaux insoluble que l'on fait égoutter, puis sécher. Cette séparation peut être faite avec avantage par des filtres-presses pour les grandes installations.

Le tartrate de chaux, ainsi obtenu, a moins de valeur que le bitartrate de potasse, mais est encore fort apprécié, et la quantité produite est souvent plus considérable. On fera bien de faire cette addition de chaux sur les eaux de décantation des lies et des marcs qui n'ont déposé que leur bitartrate.

La vinasse ainsi détartarisée, a perdu, outre l'acide tartrique, un peu d'acide phosphorique, ce qui lui retire un peu de valeur comme engrais; mais, par contre, toute sa potasse est transformée en sels organiques solubles, et elle est chargée de chaux, conditions qui augmentent cette valeur à tel point que dans quelques régions dépourvues de calcaire, on trouve que ce traitement en fait un meilleur engrais. On doit donc chercher à utiliser ces vinasses pour l'arrosage des vignes, ce qui en plus, permet d'éviter l'infection des rivières et ruisseaux.

(160) *Autres eaux-de-vie de fruits.*

Ce que nous venons de dire de la distillation des vins de raisin s'applique presque entièrement aux autres fruits; nous indiquerons à grands traits les principales différences.

Les fruits à grappes et baies, tels que groseilles, myrtille, etc., et les fruits composés, tels que fraises, mûres, framboises, figues fraîches, etc., seront traités absolument comme les raisins, à cette différence près que l'on ne laisse pas vieillir le vin, et qu'on distille aussitôt la fermentation terminée.

Les fruits, tels que pommes, poires, doivent être

broyés avant d'être portés au pressoir; on peut même augmenter le rendement en cidre ou poiré, et par suite en alcool, en faisant l'extraction des jus par diffusion, comme nous le verrons pour l'extraction du jus de betteraves. Seulement ici, il convient de remplacer l'acide sulfurique par de l'acide tartrique, et, à cause de la quantité de tannin que renferment ces fruits, il est convenable de faire la diffusion dans des diffuseurs en bois et non en tôle; sinon on s'exposerait à avoir des cidres ou poirés noirs comme de l'encre, fermentant mal et incapables de se conserver.

Comme la teneur en sucre des pommes est généralement très faible, et donnerait un liquide fermentant difficilement, se prêtant mal à la conservation, à cause de son peu d'alcool, nous préférons, surtout quand les pommes ne sont pas très mûres, opérer d'abord par pression pour extraire le jus pur, et faire subir la diffusion au marc seul. Ce marc doit être travaillé aussi frais que possible.

Les eaux-de-vie de cidre et de poiré, comme celles de vin, gagnent en arômes lorsque ces produits sont conservés pendant quelque temps en fûts avant la distillation. La durée de la conservation ne doit toutefois pas excéder huit à dix mois. Comme l'eau-de-vie de vin également, ces eaux-de-vie gagnent à être conservées en fûts de chêne.

Les lies de cidre et de poiré sont distillées, comme les lies de vin, mais n'ont aucune richesse en tartre. Les vinasses et les marcs sont sans valeur et doivent être rejetés, ou additionnés de chaux avant d'être mêlés aux engrais.

Quant aux fruits à noyaux, comme une partie de leur arôme vient des noyaux mêmes, ils doivent fermenter en présence de ces derniers, mais il faut avoir soin de ne pas briser un trop grand nombre d'entre eux, sinon l'excès d'acide cyanhydrique produit arrêterait la fermentation. Il faut aussi avoir soin d'enlever les queues qui donneraient un mauvais goût.

La manière la plus simple de faire fermenter ces fruits, est de les introduire dans la cuve de fermentation, à travers des cylindres en bois cannelés, qui

déchirent l'enveloppe et applatissent la pulpe sans broyer les noyaux, ou seulement les plus gros. Si ces fruits sont très murs et très sucrés, on y ajoute de l'eau, comme nous l'avons expliqué pour le vin, et, à défaut d'analyse du sucre, nous dirons que ces jus devront, pour une bonne fermentation, marquer de 5 à 8° Baumé comme limites extrêmes. On vérifiera l'acidité.

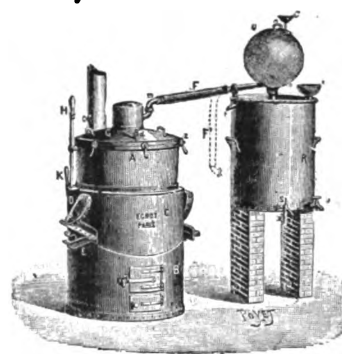


Fig. 52. — Alambic Egrot.

Rien de particulier pour la distillation ; si l'on opère à feu nu, il faut employer un alambic à double fond, pour éviter le goût de brûlé. La figure 52 représente un alambic à double fond et à bascule qui se prête très bien à ce travail.

Avant de quitter la distillation des eaux-de-vie, nous devons également signaler l'appareil Lavy qui permet de transformer les alambics simples en petits appareils continus. La figure 53 représente le chapiteau d'un alambic transformé suivant ce système. En C une petite colonne surmonte le chapiteau et concentre les vapeurs alcooliques.

Le chauffe-vin réfrigérant est formé de deux tubes concentriques roulés en serpentin et qui entourent cette colonne. Le vin d'alimentation arrivant par le tube E circule dans l'espace annulaire laissé par les deux tubes pour entrer en M dans l'alambic, alors que les vapeurs alcooliques sortant de la colonne se condensent et se refroidissent dans le tube intérieur et viennent par le tube G couler à l'éprouvette.

Les eaux-de-vie de fruits doivent se conserver dans des bouteilles ou dames-jeannes en verre, et non dans des fûts qui les coloreraient, quand même ils seraient faits avec du bois de hêtre. Les marcs et les vinasses sont sans valeur.

Les cerises produisent le *kirschenwasser* ou *kirsch;*

ce dernier nom est aussi donné au produit des prunes cultivées qui lui ressemble beaucoup; les prunes sau-

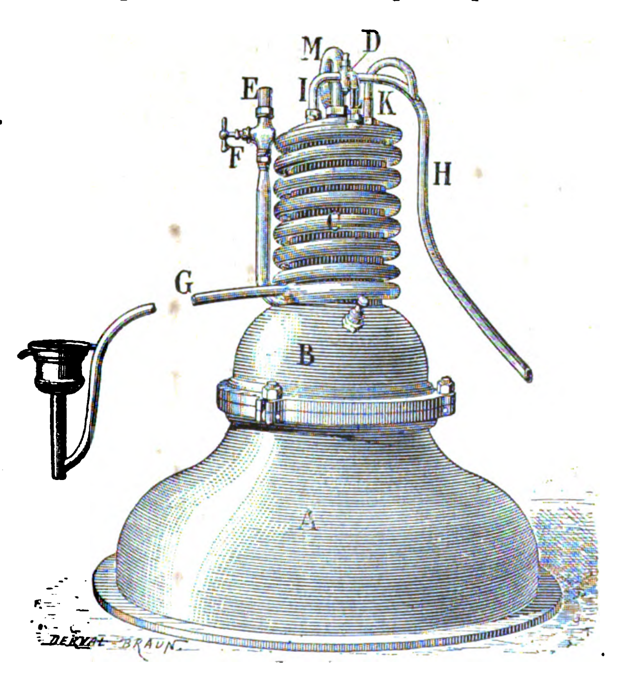


Fig. 53. — Appareil Lavy.

vages ou quetsches donnent le *quetsch* ou *zwetschenwasser;* les pêches et les abricots fournissent le *marasquin.* Telles sont les eaux-de-vie les plus connues.

CHAPITRE II

Distillation des Betteraves.

---

(160) *Généralités.*

La betterave est en France la source la plus importante d'alcool après le vin (1), et la matière première par excellence de la distillerie agricole, grâce à la valeur nutritive de ses pulpes, qui facilite l'élevage du bétail, en restituant à la terre, sous forme d'engrais, la presque totalité des matières azotées et fixes. Il en serait probablement de même en Allemagne si la loi fiscale de ce pays, où l'impôt est perçu sur la capacité des cuves, ne contraignait pas nos voisins à ne travailler que des moûts très riches, les pulpes ou résidus de betteraves ayant sur les drèches de pommes de terre l'avantage de se conserver un certain temps, ce qui est un avantage pour la nourriture des animaux. On peut ainsi prolonger la période d'engraissement du bétail au-delà de la période de fabrication.

Plus la betterave est riche en sucre, plus le rendement en alcool est considérable; mais, dans cette industrie agricole, l'alcool peut être considéré comme le produit secondaire, tandis que les pulpes jouent le rôle principal au point de vue de la culture.

La distillerie peut utiliser des betteraves de richesse moyenne, d'un grand rendement en poids, et d'une culture plus facile que les betteraves extra riches de sucrerie; aussi se prête-t-elle mieux que celles-ci à l'amélioration des terrains peu fertiles.

Placée dans le voisinage des sucreries, elle peut accepter pour son travail toutes les betteraves qui, à l'arrachage, se trouvent pauvres par suite des conditions climatériques mauvaises, ou pour d'autres causes

---

(1) Nous ne voulons pas faire allusion à la quantité d'eau-de-vie de vin, qui est fort variable; nous voulons dire seulement que le vin constitue la plus grande réserve d'alcool, de 3 à 5 millions d'hectolitres d'alcool à 100° tous les ans.



indépendantes de la volonté du cultivateur. On peut ainsi éviter en grande partie les laisser pour compte qui, trop souvent, aigrissent les relations de l'industrie et de la culture.

La question culturale est d'une importance capitale pour la distillerie agricole; mais, quelqu'intérêt qu'elle présente, elle ne peut trouver tout le développement qu'elle comporte dans un Manuel de distillation [1].

Le cultivateur doit faire son choix entre les différentes espèces pour obtenir par hectare le plus fort rendement en pulpes et en sucre, sans chercher à obtenir les hautes richesses saccharines des betteraves de sucrerie. Disons cependant que l'on ne saurait, pour l'industriel, faire descendre ce rendement au-dessous d'une certaine limite, sinon la distillation ne payerait pas ses frais.

Dans la plupart des régions, les nouveaux marchés de betteraves se basent sur la densité du jus, comme en sucrerie; c'est le moyen le plus équitable de donner à chacun ce qui lui est dû.

La réception des betteraves, leur conservation en silos, leur transport au magasin et au lavoir, le traitement des eaux de lavage, se font identiquement de la même façon qu'en sucrerie. On trouvera ces questions longuement développées dans les ouvrages de sucrerie [2].

L'analyse [3] des betteraves emprunte les procédés connus. Elle peut même être simplifiée : il suffit de faire le dosage du sucre dans la betterave et dans le jus par le densimètre et le saccharimètre, sans avoir à tenir compte des cendres, etc., la richesse en sucre important seule au distillateur. Nous passerons donc tout de suite aux opérations qui sont spéciales à la distillerie, en commençant par l'extraction du jus qui peut se faire par presses, par macération ou par diffusion.

---

(1) Voir J. Fritsch et E. Guillemin. — *Culture et Distillation de la Betterave et du Topinambour*, et les divers ouvrages de Sucrerie.

(2) P. Horsin-Déon. — *Traité de la Fabrication du Sucre*.

(3) *Manuel-Agenda des Fabricants de Sucre*, par Gallois et Dupont.

(162) *Extraction du jus par les presses.*

Ce procédé tend à disparaître aujourd'hui pour les mêmes raisons qu'en sucrerie. On peut dire que les presses hydrauliques ont complètement disparu à l'heure actuelle, nous ne nous occuperons que des presses continues qui sont encore assez répandues.

La première opération est le *râpage* de la betterave, par un cylindre garni de dents de scies ou de lames ondulées. On se sert, soit de la râpe à poussoirs, soit de la râpe centrifuge Champonnois. On fait couler sous le tambour de la râpe un léger filet d'eau acidulée par l'acide sulfurique. On amène également à la râpe, ou dans le bac à pressin, une partie du jus faible provenant de la seconde pression, et le tout est soigneusement malaxé dans un mélangeur à la suite du bac de râpe.

Cette addition d'acide facilite la diffusion du sucre des cellules non ouvertes, et arrête le développement des ferments secondaires ; par la suite, il facilitera la fermentation. Nous verrons à cette dernière la quantité d'acide à ajouter.

Le pressin ainsi obtenu doit être fin, sans pour cela être en bouillie, et ne pas contenir de semelles.

Les systèmes de presses continues sont fort nombreux et bien connus des lecteurs. Toutes se composent essentiellement de deux cylindres filtrants, tournant en sens contraire et très rapprochés, et, au-dessus de ces cylindres, une caisse reçoit le pressin envoyé par une pompe. Le jus sort à travers la surface filtrante, en même temps que, par leur rotation, les cylindres font subir à la pulpe un véritable laminage qui la sépare du jus. Mais, si énergique que soit cette pression, il reste encore 18 à 20 % de jus dans la pulpe de première pression. Aussi cette pulpe est-elle additionnée de deux fois son poids d'eau chaude acidulée, ou mieux de vinasse, dans un bac ou macérateur spécial garni d'un agitateur à palettes, et de là renvoyée à une seconde presse semblable à la première.

Il est important que le malaxeur soit assez long et de grande capacité, en vue d'un bon épuisement. Après la seconde pression, la pulpe ne doit plus contenir que

2 à 3 % de sucre au plus, et le poids de pulpe produit représente environ 20 à 25 % du poids des betteraves, pulpe qui renferme seulement 80 % d'eau en moyenne, et forme un excellent aliment pour le bétail. C'est le petit jus, ainsi obtenu à la seconde pression, qui est envoyé à la râpe.

Autrefois, on estimait beaucoup l'avantage de ces pulpes, moins humides que celles de diffusion ; mais maintenant que tous les cultivateurs, sans exception, ont pratiqué cette dernière, ils reconnaissent que la grande acidité des pulpes de presses n'est pas exempte d'inconvénients pour les animaux, et que l'avantage est moindre qu'on ne le croyait tout d'abord. Au point de vue du distillateur, les presses ont plusieurs défauts : elles n'épuisent pas suffisamment bien le sucre des betteraves; elles laissent passer des pulpes folles, gênantes pour la fermentation, et ce malgré les tamisages ; elles exigent de coûteuses réparations après chaque campagne; enfin, les jus sont plus chargés de matières pectiques et protéïques, enlevées en pure perte à la nourriture du bétail, ils moussent énormément, et salissent les colonnes à distiller.

(**163**) *Diffusion.*

Malgré la différence de nom, diffusion et macération sont basées sur le même principe, c'est l'osmose qui permet au sucre de sortir à travers la membrane des cellules de betterave, et l'on peut dire que la diffusion n'est qu'une macération perfectionnée, en vase clos et sous pression, permettant un épuisement entièrement méthodique. L'installation de cette dernière est un peu plus coûteuse, et les petites usines lui préfèrent la macération qui, d'ailleurs. donne d'excellents résultats lorsqu'elle est bien conduite.

Pour l'un ou l'autre système, la première opération à faire subir à la betterave, après le lavage et l'épierrage, c'est le découpage des betteraves en *cossettes*, à l'aide d'un coupe-racines. Comme le succès de l'opération et l'épuisement régulier de la betterave dépendent surtout de la forme et de la régularité des cossettes, il ne faut pas lésiner dans l'achat d'un coupe-racines.

Quelle que soit l'importance de l'usine, il faut que ce coupe-racines soit aussi parfait que possible dans toutes ses parties, tant comme construction que comme accessoires : couteaux, porte-couteaux ; et entretenir toutes ces parties avec le plus grand soin, exactement comme en sucrerie. Le coupe-racines doit être suffisant pour alimenter l'usine, sans dépasser des vitesses de rotation de 60 à 100 tours, suivant le diamètre du disque.

On a toujours une tendance à forcer le rendement de cette machine, en augmentant sa vitesse de rotation, ce qui est une faute. Aux grandes vitesses, les betteraves sont soumises à une grande trépidation qui les dérange, et la cossette n'est plus régulière.

L'ancien coupe-racines Champonnois, que l'on rencontre si fréquemment dans les usines à macération, à cause de son bas prix, donne des cossettes très inégales, parce qu'il est presque impossible de régler les lames directement sur l'appareil.

M. Barbet y a remédié en appliquant des porte-couteaux à ces coupe-racines, puis en leur donnant une position verticale qui les fait ressembler extérieurement à une turbine. Le tambour porte-couteaux est fixe, et la betterave est appliquée sur la paroi cylindrique par des palots. Grâce à la force centrifuge, les betteraves décrivent des cercles réguliers et donnent des cossettes longues et bien évidées.

Les couteaux doivent être des couteaux *à faitière*, donnant des cossettes dont la section ressemble à un V. Ces cossettes s'enchevêtrent sans jamais gêner la circulation du liquide. L'on doit changer les couteaux dès qu'ils commencent à s'émousser et que les cossettes ne sont plus nettes.

On trouvera tous les renseignements sur les systèmes les plus récents et sur l'entretien des coupe-racines dans le *Traité de fabrication du Sucre*, de MM. Beaudet, Pellet et Saillard.

Nous renvoyons également à cet ouvrage pour la description des batteries de diffusion et leur fonctionnement (1), ainsi qu'à l'ouvrage de M. Horsin-Déon,

(1) Voir aussi dans *L'Alcool et le Sucre*, 2e année, nos 5, 7 et 8 des notes sur les Batteries de diffusion de MM. E. Lizeray et Arachequesne.

cité plus haut, car les meilleurs appareils pour la sucrerie sont aussi les meilleurs pour la distillerie.

La diffusion demande pourtant certaines précautions spéciales sur lesquelles il est bon d'insister. Il est indispensable de mettre dans le diffuseur de tête, sur les cossettes fraîches, une certaine quantité d'acide sulfurique, ainsi qu'on le fait en macération. Sans cette précaution, il se développe dans les diffuseurs un commencement de fermentation butyrique, surtout avec les betteraves peu riches. Tout le monde se souvient des ennuis occasionnés autrefois, dans les débuts de la diffusion, par les mousses nauséabondes et les gaz combustibles qui gênaient la circulation. Cet inconvénient serait très sérieux en distillerie, car une fois le ferment butyrique en évolution active, il est très difficile de le tuer, et il étouffe la fermentation alcoolique.

Même avec l'addition d'un peu d'acide, les jus de diffusion sont un peu plus délicats à faire fermenter; ils exigent une plus grande force fermentative, c'est-à-dire de bons levains. Un autre tour de main utile à connaître est le suivant :

On laisse tomber la densité des pieds de cuves à 1.010 avant d'alimenter, et l'on ne coule le jus que de manière à ne jamais dépasser la densité de 1.010. Dans ces conditions le jus contient beaucoup de cellules de levure en activité, et les ferments butyriques apportés par le jus de diffusion ne peuvent prendre le dessus.

Quelques constructeurs, pour faire la diffusion avec autant d'acide et de vinasse qu'on en emploie en macération, ont établi des types de batteries où le diffuseur est complètement en fonte. On y trouve un petit inconvénient pratique : c'est que la fonte emmagasine une assez grande quantité de calorique, et les jus soutirés sont trop chauds pour la fermentation. Il faut interposer un réfrigérant. Tandis qu'avec les diffuseurs en tôle, on arrange très bien ses chauffages de façon que les jus se trouvent à la bonne température.

En distillerie on peut soutirer une proportion de jus plus forte qu'en sucrerie, puisqu'il ne s'agit plus d'évaporation. Aussi la diffusion, qui est déjà facilitée par l'addition d'acide, donne-t-elle des épuisements parfaits; avec une batterie bien conduite on arrive à un

point tel que c'est à peine si la liqueur cuivrique donne un précipité.

Nous avons eu d'excellents résultats, en versant par diffuseur, d'une contenance de 1.000 kilogrammes de cossettes, un litre d'acide sulfurique à 53°. On délaie l'acide dans un seau d'eau pour mieux le répartir.

Les diffuseurs en tôle peuvent être bien protégés contre l'action de l'acide par l'application de vernis à la gomme laque; ils résistent très bien. Il sera bon d'employer du cuivre perforé pour les surfaces filtrantes.

Dans ces conditions l'on peut employer les vinasses à la diffusion, et obtenir quand même des pulpes faciles à presser aux presses Klusemann. On sait que la condition indispensable pour qu'on puisse presser les pulpes, c'est que la température de diffusion n'ait à aucun moment dépassé 80° centigrades, et que les pulpes ne soient plus chaudes lorsqu'elles arrivent dans les presses.

Enfin il est bon que les pulpes soient un peu relavées à l'eau en dernier lieu ; sans cela elles seraient grasses, et de plus elles attaqueraient les tôles des presses.

Pour satisfaire à tous ces *desiderata*, voici comment M. Barbet a organisé le travail de diffusion à la Distillerie de Clastres.

La colonne rectificatrice est munie d'un récupérateur de chaleur, de sorte que les vinasses en sortent à une température de 50 degrés environ. Ces vinasses sont remontées par une pompe dans un bac placé à à côté du bac à eau de diffusion. A l'entrée de la batterie est une soupape à deux sièges; lorsqu'on procède au meichage, on ouvre la soupape du côté de la vinasse; après meichage, pour pousser le jus au bac, on invertit la soupape, de telle façon que l'eau vient déplacer la vinasse et la pousse dans la circulation. La cossette se trouve en dernier lieu au contact de l'eau, qui opère un vrai rinçage, et c'est à ce moment qu'on vide le diffuseur. De cette façon la cossette est désacidifiée et elle a la bonne température pour la pression. Les pulpes pressées ont absolument la siccité et l'aspect des meilleures pulpes de sucrerie ; il est impossible de les distinguer.

La batterie se conduit par les calorisateurs, comme

d'usage, et nécessite peu de dépense, en raison de température de la vinasse.

Il y a également une certaine économie d'acide sulfurique. Enfin le jus constitué avec l'addition de la vinasse est un excellent bouillon de culture pour la levure, grâce aux éléments azotés qui lui ont été apportés par celle-ci dans les fermentations précédentes.

(164) *Macération.*

Les macérateurs ne sont en somme que des diffuseurs ouverts et sans calorisateurs. Ils doivent être au nombre de quatre au moins, et pour les installations plus grandes sept à huit par batterie. Ce sont de grandes cuves en bois contenant 1.000 à 2.000 kilogrammes de cossettes, il ne faut guère dépasser ce chiffre. Elles sont munies d'un faux fond perforé ; à la partie supérieure vient s'adapter un couvercle en tôle percé de trous, que l'on fixe solidement pour maintenir les cossettes après le chargement, ainsi que l'indique la figure 54. La vinasse chaude arrive par le tuyau *mn* et circule ensuite dans

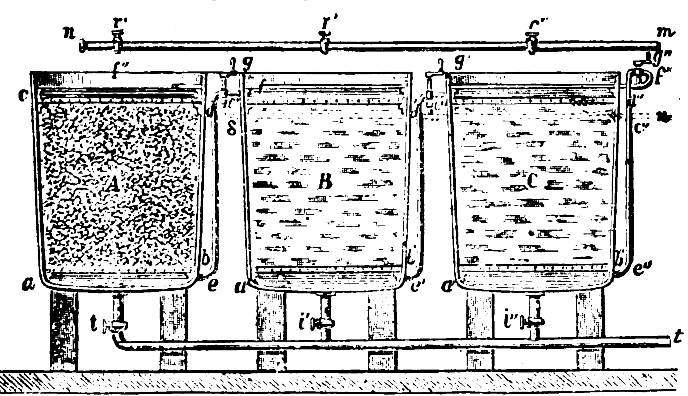


Fig. 54. — Macération.

la batterie par les tuyaux *bd*, *b'd'* qui relient les macérateurs entre eux. Comme ici l'on n'a pas de calorisateurs, il faut employer la vinasse aussi chaude que possible, et malgré cette précaution il est parfois né-

...nt l'hiver de réchauffer les jus ainsi obte-... es envoyer à la fermentation. En temps ... au contraire un réfrigérant.

...oique inférieure à la diffusion, la macération permet pourtant un bon épuisement des pulpes lorsqu'elle est opérée d'une façon méthodique, la vinasse passant successivement d'une cuve sur la suivante comme dans les diffuseurs ; elle devient beaucoup moins bonne lorsqu'on opère par épuisement successif de chaque cuve isolément, ainsi que cela se fait encore trop souvent. On ne voit plus alors ce que l'on fait et l'épuisement devient tout à fait irrégulier.

Quelques distillateurs ne persistent dans ces errements que par raison d'économie d'installation, parce que l'on se dispense des tuyauteries de circulation de jus ; c'est une bien mauvaise économie. D'autres craignent les difficultés de circulation.

Il faut faire attention qu'ici nous n'avons plus, comme en diffusion, la grande pression du bac à eau qui force le passage dans les moindres interstices. Les quatre ou cinq macérateurs sont au même niveau pour pouvoir permettre la circulation à tour de rôle, et les constructeurs ne prennent pas toujours le soin de mettre une rehausse suffisante pour que les jus puissent prendre d'eux-mêmes une certaine dénivellation suivant le numéro d'ordre. Pour assurer quatre circulations complètes dans une batterie de cinq macérateurs, nous conseillerons de donner un espace libre de 0m,60 au-dessus des couvercles en tôle perforée. Il y aura ainsi une disponibilité de 12 à 15 centimètres de perte de charge d'un macérateur au suivant, et la répartition du liquide à travers les cossettes se fera bien mieux.

Si les cossettes sont nettes et soignées, comme nous avons recommandé de le faire, on peut être assuré que cette batterie de macération ne perdra pas en moyenne plus de 0 kg.,5 de sucre pour 100 kilogrammes de betteraves. C'est là un degré d'épuisement auquel la macération peut parfaitement prétendre comme moyenne quand elle est bien suivie. Tandis qu'avec la macération intermittente on laisse dans les cossettes 1,5 et même 2 % de sucre, soit du septième au cinquième du poids total de sucre contenu dans la betterave ! Et, à moins

que la pulpe ne soit consommée immédiatement, ce qui n'est généralement pas le cas, ce sucre est absolument perdu pour la nourriture du bétail. En effet il entre en fermentation dans les silos, et en général en fermentation vicieuse, donnant naissance surtout à des acides gras dont l'excès répugne aux animaux. Tout le monde connaît l'odeur nauséabonde qui se dégage de ces silos.

Nous n'indiquerons pas de densité des jus de diffusion ou de macération, celle-ci étant variable avec la richesse des betteraves et la densité des vinasses employées. Nous dirons seulement que par macération, et suivant qualité des betteraves, on peut obtenir des jus renfermant 6 à 8 % de sucre, par diffusion on peut obtenir des jus riches de 8 à 10 %, même plus avec des betteraves très riches; mais, lors même qu'une richesse plus grande serait possible, cette richesse de 10 % doit être considérée comme le maximum pour assurer la rapidité des fermentations.

Rappelons, pour mémoire, que la plus grande propreté devra présider à l'entretien des divers instruments et de l'atelier. Les diffuseurs et macérateurs seront lavés avec soin après chaque vidange, avant de procéder à l'emplissage.

La macération devient assez dangereuse lorsque, pour une raison quelconque, on est obligé de laisser la batterie en stagnation prolongée. Le macérateur de tête se trouve généralement à une température de 50° à peine, et, peu à peu, il tombe aux températures les plus favorables au développement du ferment butyrique. On voit des bulles de gaz se dégager du macérateur, et ces bulles ont une odeur forte et répugnante.

Quand un macérateur est dans cet état, il n'y a qu'une chose à faire : sans tarder, il faut jeter à la cour jus et pulpes; la perte qui en résulte est beaucoup moindre que ne le serait celle qu'on éprouverait par l'arrêt certain des fermentations.

On nettoie vigoureusement le macérateur à l'eau acidulée avant de le remplir à nouveau de cossettes.

L'inconvénient que nous venons de signaler se produit assez fréquemment à la mise en route de l'usine,

parce qu'on fait un pied de cuve, et que l'on arrête la macération jusqu'à ce que la fermentation soit en train. On se met ainsi dans de très mauvaises conditions. Voir, au sujet de ces difficultés spéciales de mise en route, l'article de M. Barbet, dans *l'Alcool et le Sucre* [1], article dans lequel il appelle également l'attention sur la présence des sels de fer provenant de la rouille des appareils.

(165) *Fermentation des jus de betteraves.*

En pratique, on distingue deux procédés généraux de fermentation :

1° *La fermentation continue*, ou *par coupages*, dans laquelle on ensemence, de levure seulement la première cuve de jus extrait ; puis, lorsque cette cuve est en fermentation active, et à peu près remplie, on la vide en partie dans la cuve suivante, et l'on achève de remplir la première cuve de jus frais. On laisse s'achever la fermentation de la première cuve, tandis que la seconde, lorsqu'elle sera arrivée au point, subira un coupage avec la troisième, et ainsi de suite ; chaque cuve, fournissant à la suivante, le *pied de cuve* ou *levure* nécessaire à sa fermentation.

2° *La fermentation par levains.* — On fait à chaque cuve un nouvel ensemencement de levure fraîche provenant de brasserie, ou de levure pressée, ou mieux encore d'un *levain* préparé avec des levures pures dans un atelier spécial de la distillerie.

La fermentation continue est la plus simple et la plus employée dans la distillerie de betteraves, et surtout dans la petite industrie agricole où l'on n'a pas à sa disposition un personnel possédant les connaissances techniques nécessaires à la préparation délicate des levains. En outre, le jus de betteraves, par sa pureté relative, et sa richesse en sels minéraux et en matières protéïques, se prête admirablement à la reproduction des levures.

Pour appliquer ce procédé, il est nécessaire d'établir une communication entre toutes les cuves, permettant

(1) *L'Alcool et le Sucre*. Première année, p. 68.

de faire communiquer chaque cuve avec une autre cuve quelconque. On obtient facilement ce résultat par la disposition indiquée au schéma ci-contre.

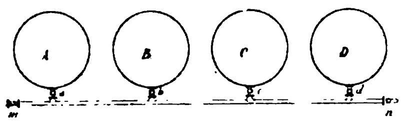


Fig. 55. — Fermentation continue.

Un tuyau, passant devant toutes les cuves, A, B, C, etc., est relié à chacune d'elle par un robinet *a*, *b*, *c*, etc, de sorte que, pour mettre en communication deux cuves quelconques, A et D par exemple, il suffit d'ouvrir les robinets correspondants, soit *a* et *d*, tous les autres robinets étant fermés. Les deux extrémités de ce tuyau sont chacune fermées par un robinet : *m*, qui relie le tuyau à la conduite d'eau de l'usine, *n* qui est un robinet de vidange ; ces deux robinets permettent le nettoyage de la tuyauterie, précaution qu'on néglige trop souvent, car, après chaque coupage, il y séjourne du jus qui s'abîme.

On peut placer ce tuyau plus ou moins haut, de façon que les robinets soient bien à la main de l'ouvrier; il importe pourtant qu'ils soient à au moins $0^{m},10$ au-dessus du fond des cuves pour être au-dessus des dépôts qui peuvent se former, et assez bas pour qu'on puisse vider chaque cuve du tiers au moins de son contenu, s'il est nécessaire, et sans attendre qu'elle soit pleine.

Pour mettre en route, on commence par extraire assez peu de jus pour ne charger que de 30 à 40 centimètres le fond de la première cuve, A par exemple ; on y introduit la levure après l'avoir réveillée dans une cuvelle de jus tiède à 35 ou 38° de température. Pour des cuves de fermentation de 200 hectolitres, on prendra une première mise de 50 kilogrammes de levure pressée; pour des cuves de 50 hectolitres, on prendra 20 kilogrammes. On délaye soigneusement, et l'on brasse pour aérer le mélange.

Si la levure est bonne, au bout de quelques minutes le liquide se gonfle et monte dans la cuvelle. Il faut

l'enlever rapidement pour la déverser dans la cuve; on la rince avec du jus, et l'on agite fortement le pied de cuve, non seulement pour rendre le liquide homogène, mais encore pour faire pénétrer de l'air dans la masse. Aussi, lorsqu'on a à sa disposition une pompe à air ou de l'air comprimé, il est encore plus avantageux de faire barboter dans le liquide un peu de cet air, préalablement stérilisé par filtration sur une colonne de coton antiseptique, ou par barbotage dans de l'acide sulfurique dilué au 1/5.

Au bout de quelques heures, suivant la qualité du jus (1), et la quantité de levure employée, la fermentation prend de l'activité, et la cuve se remplit de gaz carbonique; on remet alors en train l'extraction du jus, mais lentement, car il ne faut pas noyer la cuve.

On surveille attentivement la densité de la cuve, et l'on attend ordinairement qu'elle soit tombée à 1015 pour alimenter. Ce n'est pas du temps perdu, au contraire. Avec la diffusion, comme il est dit plus haut, il est sage de laisser descendre à 1010. On fait alors arriver un filet de jus, tel que la densité de la cuve reste invariablement à la densité choisie, 1015 ou 1010. On obtient ainsi une fermentation très active, qui permet de pousser l'extraction du jus à toute l'allure dont l'usine est susceptible.

Conduite ainsi, une cuve ne demande que dix-huit à vingt heures pour faire toute sa fermentation, depuis le moment où l'on commence à la *couler*, jusqu'à l'heure où elle est bonne à distiller.

On peut considérer la fermentation comme bonne et active lorsqu'elle s'achève en vingt ou vingt-deux heures, avec les données suivantes :

Acidité initiale du jus en acide sulfurique à 63° .	2 gr.
Acidité finale	2,2
Température du jus de betteraves.	22 à 23°
» de la cuve pendant la fermentation .	27 à 28°
» maximum quand la cuve est pleine .	30°

(1) Si la fermentation ne s'établit pas, on en accuse généralement la levure. La faute provient plus souvent de la présence dans le premier jus soit de ferments butyriques en évolution, soit de sels de fer qui sont antiseptiques. Il n'y a d'autre remède que de faire d'autre jus avec plus de précautions.

L'analyse du vin fermenté, et la constatation qu'il ne renferme que des traces de sucre non transformé, ne suffisent pas pour prouver que la fermentation a été bonne, car les bactéries ont pu transformer une partie du sucre en aldéhydes, éthers, alcools supérieurs ou bases ammoniacales. Il faut s'assurer du rendement en alcool par rapport au sucre entré en fermentation.

Suivant la proportion du liquide fermenté, introduite de A en B, on provoque dans B une fermentation plus au moins rapide. La pratique indique pour chaque usine la proportion qu'elle doit adopter pour suivre le travail d'extraction, car si l'on donne trop vite une trop grande activité à la cuve B, l'on pourra ne plus produire le jus assez vite pour alimenter simultanément les deux cuves A et B de toute la quantité qu'elles demanderont.

Pendant la fermentation, et surtout lorsque l'on à travailler des betteraves ayant subi un peu de pousse en silos, ou altérées, il se forme de grandes quantités de mousses qui tendent à déborder des cuves. On abat ces mousses à l'aide de dégras ou d'huiles végétales; mais on devra employer le moins possible de ces substances qui salissent les colonnes; avant de les employer, il est bon de s'assurer, par un essai, qu'elles ne renferment pas de substances volatiles capables de donner aucun mauvais goût à l'alcool.

(166) *Fabrication des levains avec les jus de betteraves.*

On voit que, par la méthode précédente, c'est toujours la même levure qui sert, et que sa pureté ne peut se conserver intacte. Aussi, en pratique, faut-il recommencer plusieurs fois l'ensemencement par levure pendant la durée de la campagne, chaque fois que la fermentation devient moins bonne.

Pour éviter cet inconvénient, les distilleries plus importantes procèdent elles-mêmes à la préparation de leur levain, ce qui est très facile avec le jus de betterave.

Le liquide nutritif des levains, est simplement du jus, venant des presses ou de la diffusion, que l'on

stérilise par l'ébullition, et qu'on additionne ensuite d'un peu de matières protéïques convenables : peptone, malto-peptone (1), peptonine, etc., que l'on trouve aujourd'hui à prix très abordables dans le commeree.

La stérilisation se fait dans deux petits bacs, ou *stérilisateurs*, S et S' (fig. 56), chauffés par un serpentin de vapeur et surmontés d'une hotte, où l'on amène alternativement le jus à l'ébullition pendant quelques minutes. Pour arriver aux stérilisateurs, le jus traverse un récupérateur de chaleur R, analogue aux récupérateurs des colonnes, en sorte que, pendant que l'on emplit S, ce jus s'échauffe au contact du jus bouillant de la vidange de S', qui se refroidit avant de se rendre au bac où il sera utilisé.

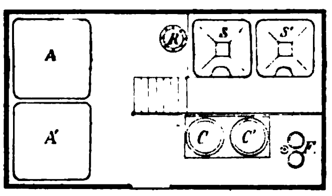


Fig. 56. — Atelier de levains pour distilleries de betteraves, topinambours et mélasses.

Pour les petites installations, on se contente d'un seul stérilisateur sans récupérateur. Il faut alors disposer le serpentin pour recevoir alternativement vapeur ou eau froide, de façon à pouvoir refroidir dans le stérilisateur même.

C et C' sont deux cuves en cuivre, étamées intérieurement, où se produit la première multiplication des levures. Elles sont fermées en haut par un couvercle à joint hydraulique, disposé de façon à permettre le libre dégagement du gaz, munies d'un petit barboteur de chauffage et d'un thermomètre; le refroidissement, s'il y a lieu, est obtenu en faisant couler sur le couvercle un peu d'eau froide, qui descend le long des parois ; aussi ces cuves sont-elles placées sur une cuvette en tôle. En outre, ces cuves possèdent un robinet de remplissage, en communication avec les liquides stérilisés venant du récupérateur R, un tuyau de vidange

(1) Nous apprécions tout particulièrement le produit désigné sous le nom de malto-peptone, qui, incoagulable par la chaleur à 100°, peut être introduit dans le jus de betterave avant stérilisation. On peut ainsi se mettre à l'abri de toute contamination suspecte.

vers la partie inférieure, et un tuyau de barbotage relié par un robinet à la conduite d'air stérilisé.

Les bacs A et A' sont les deux bacs à levain ; ils sont ronds ou carrés, mais avec angles arrondis pour faciliter le nettoyage, et munis d'un serpentin réfrigérant en communication avec la conduite d'eau froide, et d'un barboteur d'air stérilisé.

Les stérilisateurs S et S' sont assez élevés pour que leur contenu ait un écoulement facile dans A, A', ou C, C', placés en contre-bas.

Ceci posé, voici comment on opère :

Le vase C est stérilisé par passage d'un courant de vapeur, puis on y introduit du jus stérilisé additionné de malto-peptone, et refroidi à la température de 25 ou 28°, suivant la nature de la levure employée. Cette levure peut être choisie : soit parmi les levures pressées venant des meilleures fabriques, soit parmi les diverses levures de vin sélectionnées que l'on peut se procurer dans les laboratoires spéciaux. On peut encore, ce qui est préférable, la produire à l'usine même par l'appareil de M. Fernbach (1) dont nous reproduisons le dessin (fig. 57) et que nous avons représenté par la lettre F sur la figure 56. Il suffit en effet, avec cet appareil, de s'être procuré une première fois quelques cellules de levure pure appropriée, pour pouvoir la reproduire pour ainsi dire de façon indéfinie, ou tout au moins pendant la durée d'une campagne.

La levure pure est alors ensemencée dans le vase C (fig. 56), où l'on maintient un léger barbotage d'air en conservant rigoureusement la température optima pour la levure, qui tout d'abord se réveille, puis prolifie. Suivant la quantité de levure ensemencée, et suivant son origine, il faut de quelques heures à 1 jour et 1/2 pour amener C en pleine fermentation. C'est sur cette durée, variable avec la levure adoptée, que l'on se règlera pour fixer le nombre des cuves C, C' etc.

Lorsque C est en pleine fermentation, on remplit

---

(1) On trouvera la description de cet appareil, ainsi que les détails de son fonctionnement, dans les journaux « *La Bière* », 1re année, n° 10; et « *L'Alcool et le Sucre* » 2e année, n° 5.

le bac A (ou A') de jus stérilisé jusqu'à moitié de sa hauteur, et on ensemence avec la moitié du contenu de C, puis on y fait barboter un peu d'air stérilisé; en même temps que l'on remplit C de jus nouveau pour continuer la reproduction.

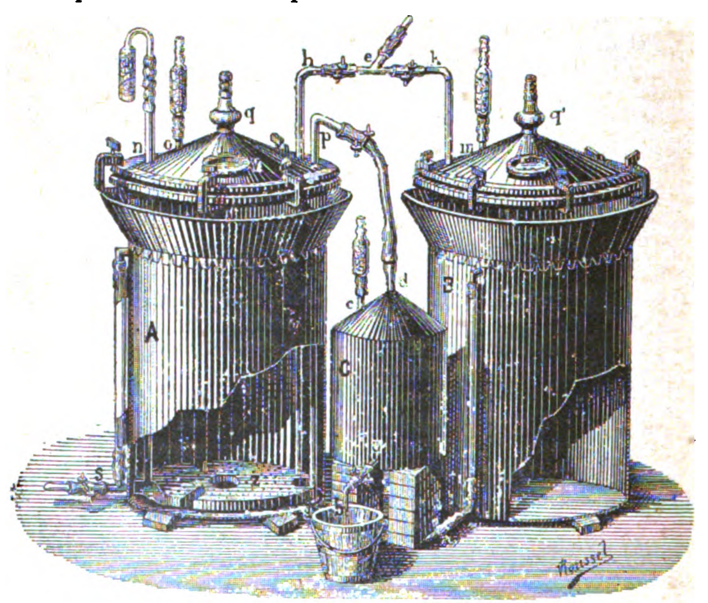


Fig. 57
Appareil de M. A. Fernbach pour la production de la levure pure.

La fermentation s'établit rapidement en A, et au bout de 2 à 3 heures est très active; on achève alors de remplir ce bac de jus stérilisé et d'y injecter un peu d'air, de 1 à 2 heures après le levain est mûr. On peut alors soutirer en pleine fermentation la moitié du bac A pour former le pied d'une des cuves de la distillerie, cuve sur laquelle on continue de couler; puis on remplit A de jus stérilisé.

D'un même bac A, on peut ainsi tirer jusqu'à 12 pieds de cuve successifs, et au dernier on vide complètement le bac. Le dégagement d'acide carbonique et

d'air qui se produit, met en effet ces bacs à l'abri presque absolu des poussières de l'air quoiqu'ils soient découverts, leur seule chance de contamination par les ferments étrangers est la rentrée d'air au moment de la vidange partielle du bac, aussi, convient-il de ne pas renouveler cette opération plus de 10 à 12 fois, et mieux seulement 6 à 8 fois.

C'est pour cela qu'il faut toujours avoir 2 cuves A et A', bien qu'elles ne travaillent ensemble que fort peu de temps, seulement 2 ou 3 heures par jour ; mais on comprend qu'il est indispensable d'assurer la régularité des levains, et pour cela, 2 à 3 heures avant de tirer le dernier levain de A par exemple, on nettoye puis stérilise A' que l'on charge de jus stérilisé et qu'on ensemence de levure pure provenant de C. La dimension de ces petites cuves sera proportionnée aux cuves de la cuverie, en sorte que chaque pied de cuve représente de 1/20 à 1/10 de la contenance de celles-ci suivant la richesse saccharine du jus et la rapidité que l'on veut imprimer au travail.

On a eu soin de remplir à nouveau C de jus frais et stérilisé pour continuer la production de la levure mère, et on y entretient l'activité de la fermentation et de la reproduction par barbotage d'air, puis en soutirant de temps à autre un peu de levain qu'on remplace par du jus stérilisé de façon à avoir toujours un pied de levure mère prêt, en cas d'accident à la cuve A, et qui servira pour l'ensemencement de A'. Chacun de ces bacs en cuivre C ou C' doit fournir les levures mères nécessaires à un travail de 24 heures.

Cette production de levure a lieu, comme nous l'avons dit à la partie théorique, aux dépens d'une certaine quantité de sucre et du rendement total que l'on obtiendrait en ensemençant directement avec des levures achetées toutes faites, mais il ne faut pas perdre de vue que le fabricant de levure n'a pu lui-même produire sa levure qu'aux dépens d'un sucre sur lequel il prélève un bénéfice très légitime. Cette dépense en sucre est théoriquement la même, qu'on agisse par fermentation continue ou par levains, seulement, dans ce dernier cas, on est assuré que tout le sucre consommé l'est uniquement pour produire des levures pures et

non des faux ferments, on est moins sujet aux accidents de fabrication.

En outre, par l'emploi de levures pures bien choisies, on améliore considérablement la qualité des flegmes dont on peut même modifier le bouquet ou l'odeur.

(167) *Distillation des moûts de betteraves.*

La distillation de moûts de betteraves ne présente rien de particulier, et nous pouvons renvoyer le lecteur à ce que nous avons dit à la théorie de la distillation. On remarquera seulement que, lorsqu'on opère l'extraction du jus par macération à la vinasse, pour avoir la vinasse chaude on devra employer une colonne à chauffe-vin et non à récupérateur. Dans les autres cas, extraction par presse, ou même diffusion, nous préférons au contraire l'usage du récupérateur ; en effet, avec les vinasses chaudes, une partie de la chaleur est employée en pure perte à réchauffer les cossettes épuisées, la pulpe bouillante est si peu maniable qu'on ne peut la presser, et, comme on le verra par la pièce annexe (**170**), la perte sur la pulpe ne compenserait pas l'économie de vapeur.

La rectification des flegmes de betterave ne présente non plus aucune particularité remarquable ; pour obtenir des alcools vraiment neutres, il est seulement indispensable de les filtrer sur charbon si l'on veut faire disparaître entièrement le goût d'origine, très persistant quoiqu'il échappe aux indications des réactifs connus, et afin d'éviter plusieurs rectifications.

(168) *Utilisation des résidus.*

Les résidus de la distillation de betteraves sont les vinasses et les pulpes.

Les vinasses de betteraves n'ont aucune valeur nutritive ou industrielle, la meilleure manière d'en tirer parti est donc, lorsque cela est possible sans grands frais, de les répandre dans les champs pour restituer au sol les sels qu'elles renferment ; on évite en outre ainsi les difficultés qu'on éprouve toujours à se débarrasser des eaux résiduaires. Malheureusement, ces intallations

d'épandage sont souvent trop coûteuses, il faut se résoudre à rejeter les vinasses, en évitant de les envoyer dans les mêmes fosses que celles où se décantent les eaux sales provenant du laveur. Par leur chaleur elles faciliteraient le développement de fermentations putrides dans ces fosses.

Les cossettes épuisées, ou *pulpes*, sont au contraire un aliment de grande valeur, et plus encore les pulpes de distillerie que les pulpes de sucrerie, grâce à leur richesse en azote; mais au sortir des macérateurs ou diffuseurs elles renferment une grande quantité d'eau (90 à 94 %) prises sur le plancher d'égouttage. Aussi, pour augmenter leur valeur, commence-t-on par expulser le plus possible de cette eau à l'aide de presses continues spéciales dont l'une des premières et des plus répandues est la presse Klusemann dont la figure 58 montre la coupe verticale. La pulpe de diffusion seule peut se presser, celle de macération trop chaude et trop cuite passe à travers les tôles perforées.

Fig. 58.
Presse Klusemann.

Au sortir des presses, la pulpe de diffusion ne renferme plus que 85 à 90 % d'eau pour 15 à 10 % de de matière sèche, et d'après Briem, cette matière sèche serait composée de :

Fibres.	23,70	100,00
Cendres	5,27	
Matières grasses.	1,42	
Matières protéiques	11,20	
Matières extractibles non azotées	58,41	

On voit que malgré l'extraction de près de moitié du poids d'eau primitif, la pulpe en renferme encore une proportion considérable. Dans cet état cependant, elle fournit un aliment de premier ordre pour le bétail,

surtout lorsqu'on la mélange de menue paille, de tourteaux et autres aliments secs.

La conservation des pulpes se fait le plus généralement en silos d'une largeur de 4 à 5 mètres, sur 1 mètre à 1^m,50 de profondeur, la longueur dépendant du terrain dont on dispose et de la quantité à conserver. On donne au fond du silo une légère pente pour assurer l'écoulement des eaux, et à la partie la plus basse on creuse un puisard rempli de mâchefers ou de pierres pour faciliter l'absorption par le sol. Il est bon de protéger les deux côtés du silo contre les éboulements par des murs en maçonnerie.

Pour procéder à l'ensilage, on garnit le fond du silo d'une couche de 2 à 3 centimètres de longue paille, puis on y étend une couche de 20 centimètres de pulpe, on remet une nouvelle couche de paille, mais cette fois de paille hachée, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que le silo soit terminé. A partir du niveau du sol, on dispose la pulpe en sorte que le tas forme deux talus de même pente sur lesquels on dispose une nouvelle couche de longue paille, en forme de toit, les épis en l'air, puis on bat sur cette paille une couche de terre de 20 à 25 centimètres d'épaisseur.

Avec ces précautions, la pulpe se conserve très bien et plaît même mieux au bétail que la pulpe fraîche, la régularité des couches de paille favorise l'écoulement de l'excès de liquide, et surtout la paille en absorbe une grande partie en se chargeant de principes nutritifs qui, sans elle, seraient perdus.

Ce procédé de conservation est très bon, surtout dans les petites exploitations où la pulpe est consommée sur place, et encore lorsque les transports de la pulpe ne sont pas trop onéreux, mais on ne peut songer à la conserver ainsi indéfiniment. La freinte des pulpes en six mois de silo correspond à 25 % de la substance sèche et atteint 50 % après un an. On voit donc que dans bien des cas, et surtout pour les grandes distilleries, on peut chercher à faire mieux.

Le premier Mærcker a cherché, et a démontré la possibilité du séchage des cossettes pour les raisons que nous venons de signaler, et il a calculé que pour ramener à 10 % d'eau des cossettes qui en renfermaient au préa-

lable 90 %, il suffisait de dépenser 14 kilogrammes 8 de houille, dépense compensée par la perte en matière sèche qu'aurait occasionné un ensilage de six mois.

De nombreux brevets ont été pris par divers inventeurs, et appliqués avantageusement dans plusieurs sucreries. Nous renvoyons pour leur description au « Traité de MM. Beaudet, Pellet et Saillard. » D'après les chiffres fournis par les inventeurs, et les comptes de dépense établis par M. Vivien et M. Sachs, on peut établir que la tonne de pulpe desséchée de sucrerie revient à environ 50 francs, tous frais compris, en comptant à 5 francs par tonne la valeur de la pulpe de sucrerie sortant des presses Klusemann. Or la pulpe sèche a une valeur de 70 à 100 francs la tonne suivant les localités. On voit donc que, bien que les frais d'installation des fours à dessécher les cossettes soient assez élevés, les résultats obtenus doivent faire prendre en sérieuse considération ce nouveau procédé.

(169) *Contrôle et surveillance du travail*

1° *Valeur proportionnelle des betteraves.* — La première condition est de se rendre un compte exact de la valeur des betteraves pour établir les marchés et recevoir les racines achetées au cultivateur. En général, les marchés sont établis à la densité du jus, mais la base varie suivant les régions et les conditions de la récolte, il sera donc bon d'établir des tableaux analogues au tableau suivant. On établira plusieurs colonnes, selon les divers bases et prix pratiqués dans la région.

Rendement °/° en alcool	Poids de betteraves par hectolitre d'alcool	Base de 16 fr. à 5°		Base de 19 fr. à 5°,5	
5.0. . .	. . 2000 . .	1° vaut 3fr20	16,00	1° vaut 3fr45	17,30
5,5. . .	. . 1818 . .		17,60		19,00
6,0. . .	. . 1666 . .		19,20		20,75
6,5. . .	. . 1540 . .		20,80		22,45
7.0. . .	. . 1430 . .		22,40		24,20

En pratique, on admet que le rendement en alcool 100° est égal à la densité, ce qui est sensiblement vrai, en sorte que la valeur d'un degré de densité est le 1/10 du prix d'achat de l'hectolitre d'alcool. Exemple : sur la base de 16 francs à 5° le degré vaut $\frac{16}{5} = 3$ fr. 20, c'est-à-dire que l'on achète l'hectolitre d'alcool à 100° dans la betterave à 32 francs.

Lors de la réception, on contrôlera les indications du densimètre par le saccharimètre pour établir la richesse en sucre des betteraves, et pouvoir ultérieurement se rendre compte du rendement réel, des pertes en silo, pertes aux laveurs, etc. Inutile de rappeler ici les conditions de pesage, tare, propreté des racines que l'on doit observer à la réception. Nous reproduisons d'ailleurs à cet égard, (**170**) et comme pièce annexe, les dispositions adoptées par la Société des Agriculteurs de France.

2° *Contrôle de la diffusion.* — Quoiqu'en distillerie le pesage des betteraves ne soit pas exigé par la régie, comme en sucrerie, ce pesage serait très utile au distillateur pour se rendre un compte exact de sa fabrication ; et comme en sucrerie, ce pesage devrait être effectué sur les betteraves sortant du laveur, avant leur passage à la râpe ou au coupe-racines. Le poids ainsi pris donne la quantité réelle de matière première mise en œuvre chaque jour, et, par comparaison avec les poids bruts des bascules de réception, permet de vérifier le bien fondé des tares.

Les bascules à enregistreur automatique, semblables à celles exigées en sucrerie pour le pesage à la régie, sont tout indiquées pour ce travail. Mais une semblable bascule coûte cher, et en outre l'ouvrier chargé de veiller à l'emplissage de la bascule ne se sentant pas surveillé obligatoirement, comme en sucrerie, néglige souvent sa tâche. Donc à chacun de voir suivant l'importance de son usine, s'il peut établir ce contrôle, fort utile s'il est fait de façon rigoureuse, mais entièrement inutile sans cette condition.

A défaut de ce contrôle, on aura soin de vérifier de temps à autre le poids de racines introduit dans cha-

que diffuseur ou macérateur, tant pour régler le bon remplissage de ces appareils, que pour établir une approximation du poids de betteraves employées.

Les modèles de feuille de contrôle que nous donnons ci-après paraîtront, non sans raison, compliqués, car nous y avons réuni toutes les conditions du contrôle journalier le plus rigoureux. Il sera facile à chacun de les simplifier suivant les besoins de son usine et le personnel qu'il peut affecter à ce contrôle.

La feuille *modèle A* sera remplie par le chef de batterie au moins pour le nombre de diffuseurs et le volume du jus extrait. Les autres points seront vérifiés le plus souvent possible par le chimiste ou le chef de fabrication.

La feuille *modèle B* est plus compliquée, et pour les petites usines n'ayant qu'un chimiste, on se contentera de l'établir seulement chaque semaine de façon à vérifier les pertes aussi exactement que possible.

3° *Contrôle de la cuverie et de la colonne.* — Il en sera de même pour l'inventaire de la cuverie *modèle C*, que l'on pourra ne faire que tous les 8 jours pour établir le calcul des pertes. On aura soin alors d'avoir dans la cuverie un tableau noir où l'on tracera à l'avance les colonnes de « Commencement du coulage », « Fermentation tombée » et « Acidité initiale et finale ». Ces chiffres relevés chaque soir, permettront en fin de semaine d'avoir aussi exactement que possible le nombre des cuves travaillées, c'est-à-dire le volume du moût fermenté.

Parallèlement on établit la feuille *modèle D*, donnant l'inventaire hebdomadaire des flegmes sortis de la colonne, et qui servira au calcul des pertes. Cette feuille D sera facilement remplie à l'aide de l'inventaire des bacs à alcool *modèle E*, qui, à cause de la Régie, doit être établi chaque jour et concorder avec les registres de prise en charge des employés du fisc. Nous n'avons pas à insister sur la nécessité absolue de ce contrôle dont la valeur de l'impôt indique toute l'importance. Les erreurs s'il s'en produit, et qu'elles viennent du distillateur ou de la Régie, sont ainsi relevées de suite et corrigées facilement.

MODÈLE A

ATELIER DE DIFFUSION

Relais de [(1)] . . . .

CHEF DE BATTERIE : . . . .

Le . . . . *189* . . *de heures* . . . . . *à* . . . . . *heures du* . . . .

NUMÉRO d'ordre	NUMÉRO du diffuseur	HEURE de l'extraction du jus	DENSITÉ du jus	TEMPÉRATURE du jus	HECTOLITRES de jus extraits	ACIDITÉ du jus	NUMÉRO de la cuve où l'on coule	CAUSE DES ARRÊTS — OBSERVATIONS
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
etc.								
etc.								

(1) Jour ou Nuit.

MODÈLE B N° ....

CONTROLE DE LA DIFFUSION

Inventaire (Journalier ou hebdomadaire) du .... 189..

MATIÈRES ANALYSÉES	TENEUR en sucre °/o	TENEUR moyenne
Betteraves........................	....	....
Jus aux mesureurs........................	....	....
Pulpes de diffusion .... et eaux des presses Klusemann	....	....
Eaux de diffusion................	....	....

..... kilos de betteraves travaillées à..... °/o de sucre..... kil. de sucre

..... hectos de jus aux mesureurs à ..... °/o de sucre ..... »

Perte totale par différence : ......

Qui se décompose en :

Perte dans les pulpes : ...., soit °/o kil. de betteraves :......... K

» » les eaux : ...., » » : ....

» indéterminée : ...., » » : ....

Perte totale : ...., Perte °/o kil. de betteraves : K

Pertes comptées en alcool : Totale ....hectol. °/o kil. de betteraves :......... H

Le Chimiste :

Modèle C

CUVERIE

Journée (ou Semaine) du .... *au* .... *189* . — Inventaire N°....

Nos des cuves	Coulage commencé		Rendement en alcool par hect. du jus	Densité		Fermentation tombée		Durée de la fermentation	Acidité		Envoyée à la colonne à heures	Observations
	Le	à heures		Initiale	Finale	Le	à heures		Initiale	Finale		
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

Ce jour il a été rempli :
.... cuves, soit .... hectolitres de jus devant donner un rendement de .... hectolitres d'alcool à 100°
Inventaire précédent N° ... . » »
Total.......... .... » »

Envoyées à la colonne :
.... cuves, soit .... hectolitres de jus au rendement probable de.. .... » »
Reste ce jour.............. .... » »

Calcul des Pertes :

Le rendement probable des jus envoyés à la colonne était de .... hectolitres d'alcool à 100°
De la situation de la distillerie, la production a été de........ .... » »

Perte de fermentation (sucre dans les vinasses), soit ..... hect. alcool
Perte de distillation (alcool dans les vinasses), » ..... » »
Perte indéterminée ou freinte.............. » ..... » »
} Perte totale : .... » »

Pour établir les rendements probables et déterminer les pertes du tableau C, puis traduire en alcool les pertes de sucre du tableau B, on adopte un coefficient invariable pour toute la campagne. En général nous adoptons le coefficient 0,6, c'est-à-dire que 1 kilogramme de sucre cristallisable ou saccharose doit fournir 0 lit. 6 d'alcool à 100° ; dans une usine travaillant très bien bien on peut adopter 0,62 de façon à avoir toujours des pertes, et non tantôt des pertes et tantôt des gains, c'est- à-dire des quantités de signes contraires qui seraient fort incommodes à additionner.

Si l'usine possède un rectificateur, on établit son contrôle par la feuille *modèle F* que l'on remplit également avec l'inventaire journalier E du magasin à alcool. Les modèles nous dispensent de plus longues explications.

L'important dans le mécanisme de ce contrôle est d'établir les inventaires, soit journaliers, soit hebdomadaires, toujours à la même heure et dans les mêmes conditions, et de numéroter ces inventaires avec le plus grand soin.

Chaque inventaire, journalier ou hebdomadaire, ne permet en effet de déterminer la production et les pertes que par addition de l'inventaire précédent, il faut donc éviter toute erreur dans l'ordre de ces pièces. En outre, il est parfois difficile, au moment juste où l'on établit l'inventaire, de mesurer exactement le volume des jus, ou le poids de betteraves travaillé, par exemple si l'on a des cuves en coulage ou en vidange.

En opérant avec ordre, ces erreurs d'appréciations inévitables perdent de leur importance, chaque inventaire corrigeant en sens inverse les erreurs du précédent pour ne laisser subsister que les siennes propres. Ces erreurs deviennent donc d'autant plus négligeables qu'elles portent sur un plus grand nombre d'inventaires totalisés, et deviennent nulles en fin de campagne.

MODÈLE D

DISTILLATION [1]

Inventaire N° ____ commencé le .... dans la cuve N° ____

Dates	N° des cuves distillées	N° du bac à flegmes bruts	Alcool à 100° des flegmes	Produits de tête à 100°	Huiles à 100°	Observations — Reprises des moyens goûts.
Total						

(1) Tableau établi pour colonne rectificatrice, séparant les éthers et les huiles. Pour une colonne ordinaire, il n'y aurait qu'à supprimer les colonnes inutiles.

Modèle E

INVENTAIRE JOURNALIER

des Bacs à alcools et Produits alcooliques

Le .... *à* .... *heures* N° ....

DÉSIGNATION	NUMÉRO du bac	HAUTEUR du liquide	DEGRÉ à 15°	ALCOOL à 100°	DIFFÉRENCES depuis la veille	
					En plus	En moins
Total	... ...					
Expéditions	. ...					
Total général.....	. . . .					
Total de la veille.	....					
Production.......	....					

Magasin à Alcools le .... **après l'inventaire N°**

		OBSERVATIONS
Alcool spécial		
id. supérieur		
id. courant...		
Flegmes		
Alcools imparfaits..		
Total.......		
Expéditions d'alcool		
Total............		
A déduire situation antérieure....		
Production réelle		
id. de flegmes		
Différence ou freinte...........		

Modèle F

RECTIFICATION

Journée du .... 189... N°......

	NUMÉRO des bacs	ALCOOL à 100°	OBSERVATIONS
Stock de flegmes hier....			
....			
Coulage de la colonne....			
....			
Total...........			
Stock de flegmes aujourd'hui			
Différence ou chargement.			
PRODUCTION:			
Alcool bon goût.........			
....			
Produit de tête..........			
» queue			
Total...........			
Différence ou freinte......			

(170) Pièce annexe.

INSTRUCTION POUR LA RÉCEPTION DES BETTERAVES DANS LES SUCRERIES ET DISTILLERIES

Adoptée par la Société des Agriculteurs de France.

OBJET

Les points qui peuvent donner lieu à des divergences dans la réception des betteraves sont les suivants :

La fixation de la tare ou l'établissement du poids net des betteraves ;

La constatation de leur teneur en sucre ;

L'altération accidentelle des racines et l'impureté de leur jus :

Ce sont ces points et les difficultés qui peuvent en résulter entre acheteurs et vendeurs, que le présent règlement a pour but de résoudre.

I. — ÉTABLISSEMENT DU POIDS NET

Les betteraves doivent être livrées décolletées comme il sera dit ci-après.

Pesage des voitures. — A l'arrivée à l'usine, la voiture doit être pesée, déchargée, puis repesée après déchargement avec la terre restée dans le fond.

Pour les tombereaux, cette opération est insuffisante, car il y a toujours une certaine quantité de terre du fond projetée hors de la voiture pendant le déchargement ; on devra donc décharger à la main un certain nombre de tombereaux pendant la journée et on appliquera aux autres tombereaux la moyenne de la tare complémentaire trouvée.

Prise des échantillons. — Pendant que la voiture est en déchargement, on y prélève sans choisir, et de façon à avoir la vraie moyenne du déchargement, une quantité de betteraves (de 25 kilos au minimum) qu'on met dans un panier auquel on attache une étiquette portant un numéro d'ordre.

L'échantillon ne doit être pris que sur des voitures dans lesquelles le déchargement a été poussé jusqu'au fond.

En principe, le déchargement doit se faire entièrement à la main ; le déchargement à la fourche ne devra se faire que d'un commun accord.

Nettoyage des racines. — On procède ensuite au nettoyage des racines, pour en détacher la terre, on les gratte et on les brosse à

sec ; le grattage se fait avec un couteau. Cependant, lorsque la nature de la terre adhérente l'exige, on la détachera par le lavage dans l'eau froide, suivi du brossage, et cela d'un commun accord.

Décolletage. — Pour éviter des pertes sur la prise en charge, les betteraves doivent arriver décolletées aussi parfaitement que possible, c'est-à-dire horizontalement au niveau des premières folioles.

Il paraît toutefois difficile d'obtenir un décolletage absolument rigoureux, et pour tenir compte de cette difficulté on laisse une certaine latitude pour la tare supplémentaire qui peut en résulter.

Si cette tare supplémentaire dépassait 4 0/0, les betteraves ne pourraient plus entrer en livraison qu'après entente et de gré à gré, ou après avoir été soumises à un nouveau décolletage

Les radicelles ayant moins de 8 millimètres de diamètre sont impropres à la fabrication, au même titre que le chevelu et les collets, et devront être éliminées avec la terre.

Tare. — Les betteraves ainsi nettoyées et préparées sont remises dans le panier et pesées de nouveau ; la différence de poids avec la pesée précédente indique le tant pour cent de réduction à faire sur le poids brut.

II. — CONSTATATION DE LA RICHESSE EN SUCRE

Pour établir la richesse saccharine des betteraves par la densité, on les râpe pour les transformer en pulpe que l'on soumet à une pression aussi forte que possible, et au moins de 50 kilos par centimètre carré. Le tissu enveloppant la pulpe devra être sec, ou tout au moins exempt de tout liquide ou matière pouvant influer sur la densité du jus expérimenté.

Râpage. — Le râpage devra se faire à la râpe plane ou cylindrique, après division des racines dans le sens de la longueur par quart ou par moitié, ou à la râpe conique, ou au foret.

Ce dernier mode d'opérer (le foret), qui présente des avantages dans certains cas, à cause de sa rapidité, et du peu de matière qu'il emploie, ne devra être employé que si les parties sont tombées d'accord à ce sujet, car il ne semble pas offrir autant de garanties que les autres procédés.

Prise de la densité. — Le jus extrait est versé dans une éprouvette portant le numéro du panier : elle doit être assez profonde et assez large pour que le densimètre y flotte librement sans toucher les parois.

Comme le jus peut contenir de la pulpe, de la terre, des gaz, qui fausseraient l'opération, on doit le laisser en repos pendant 15 minutes environ pour que les gaz s'échappent et que les matières en suspension se précipitent ; ce temps pouvant être prolongé quand la betterave est très riche.

On peut abréger l'opération en employant les vases dits à décantation.

L'un des moyens les plus rapides d'éliminer les mousses et les impuretés consiste à laisser pendant 4 à 5 minutes le jus en repos dans un récipient très plat; les bulles de mousse, en raison de la faible épaisseur du liquide, s'éliminent alors très rapidement.

Correction de température. — La densité doit être prise à 15° centigrades, à l'aide d'instruments portant le contrôle de l'Etat; il est nécessaire de ramener le jus à cette température quand le thermomètre indique qu'ils sont au-dessus ou au-dessous.

En cas d'impossibilité, on pourra, d'un commun accord, se servir d'une des tables de correction existantes.

Analyse chimique. — La prise du degré densimétrique suffit dans la plupart des cas; il faut réserver l'analyse chimique pour des circonstances exceptionnelles; par exemple, quand les jus manquent de pureté, ce qui peut être dû à la nature de certains sols, à un excès d'engrais azoté, ou à des causes accidentelles quelconques.

III. — DE LA PRISE D'ÉCHANTILLON DANS LES CHAMPS

Ce moyen est employé dans certaines cultures où existent des pièces de betteraves de grande étendue en vue de gagner du temps.

On prélève alors en commun, suivant les conditions déterminées à l'avance, une quantité donnée de betteraves pour en faire un échantillon moyen sur lequel se font les constatations de réception.

Ce moyen qui, dans certains cas, présente des avantages, peut aussi donner lieu à des mécomptes de part et d'autre; aussi convient-il de le réserver pour des circonstances particulières et de gré à gré.

IV. — DES PULPES DE BETTERAVES

Les pulpes de betteraves livrées par le fabricant de sucre doivent avoir une teneur minimum de 10 0/0 de matière sèche; toutefois elles ne seront refusables que si cette teneur descend au-dessous de 8 0/0; entre 10 et 8 0/0 il y aura lieu à une réfraction proportionnelle calculée en prenant le coefficient un et demi pour une unité d'écart.

V. — DU CONTROLE DES OPÉRATIONS ET DE L'ARBITRAGE DES DIFFÉRENDS

Chaque fois que la tare ou l'essai densimétrique présente un écart notable avec les essais précédents, on renouvelle l'opération sur le premier envoi provenant du même champ; c'est en multipliant les opérations qu'on réduit les chances d'erreur.

Le fournisseur qui ne peut pas suivre toutes ses livraisons, devrait toujours se faire représenter par un délégué, lequel peut être commun à plusieurs fournisseurs; en effet, la présence ou la représentation des intéressés doit suffire à écarter toutes contestations.

Quoi qu'il en soit, il importe que les contestations qui pourraient naître soient rapidement résolues, et pour cela il est très recommandé aux vendeurs et acheteurs de betteraves d'insérer dans leurs traités la clause d'arbitrage ci-après.

Clauses d'arbitrage. — « En cas de différend les parties s'engagent à s'en rapporter à un arbitrage composé commé suit :

« Chaque partie nomme un arbitre, ces deux arbitres en choisissent de suite un troisième, et ces trois arbitres opérant conjointement sont chargés de résoudre le différend. Dans le cas où les deux premiers arbitres ne seraient pas d'accord pour la désignation du troisième, celui-ci sera désigné par le juge de paix du ressort, au pied de la requête de la partie la plus diligente. Le tribunal arbitral ainsi constitué statuera sans appel, avec la dispense du serment et des formalités judiciaires. »

Nota. — Le présent projet de règlement, surtout en ce qui concerne les livraisons de pulpes de diffusion, sera examiné de nouveau par les deux sections compétentes à la prochaine session générale de la Société, après l'expérience qui en aura été faite pendant la prochaine campagne sucrière (1).

(171) *Observations sur le contrôle chimique.*

En distillerie on ne doit employer le saccharimètre, pour la détermination du sucre dans les betteraves qu'au moment de la réception, ou avant passage au coupe-racines, car aussitôt après, les cossettes, étant au contact de l'acide sulfurique, l'inversion est commencée. Il faut donc, pour les analyses, compléter cette inversion au laboratoire, et procéder par liqueurs cuivriques.

La même observation s'applique, à plus forte raison, aux dosages des sucres dans les cossettes, petites eaux, vinasses, etc.

Un des points les plus importants est le contrôle de l'acidité des jus avant et après fermentation. Ces

---

(1) Extrait du *Bulletin de la Société des Agriculteurs de France* du 15 avril 1894.

La teneur de 10 0/0 en matière riche ne peut évidemment s'appliquer aux pulpes de macération. Il y a là une lacune que nous signalons à la Société des Agriculteurs, lors de la révision de cette instruction.

dosages se font suivant la méthode générale de l'acidimétrie (**66**), et ainsi que nous l'avons dit, on a coutume en distillerie d'exprimer l'acidité en grammes d'acide sulfurique par litre, et non en centimètres cubes de liqueur normale.

Or, ainsi que nous l'avons vu au chapitre de la Fermentation, si l'acidité des jus est nécessaire, et si, en particulier, l'acidité sulfurique joue le rôle d'antiseptique vis à vis des faux ferments, une *acidité sulfurique réelle*, supérieure à 2 gr. 4, arrête elle-même la fermentation ; on travaille pourtant avec des acidités bien supérieures. Cela tient à ce que, dans les jus de betterave, surtout ceux qui proviennent de la diffusion par les vinasses, l'acide sulfurique introduit dans les jus se combine en grande partie, sinon en totalité, avec les bases des sels organiques, mettant en liberté les acides organiques de ces sels; et ce que l'on nomme acidité sulfurique des jus n'est, en réalité, que la somme des acidités organique et sulfurique exprimées en SO^4H^2.

D'après Corenwinder, un litre de jus de betteraves contient les matières minérales suivantes :

	Sans engrais —	Engrais chimique
Chlorure de sodium	1,238	0,798
Potasse	2,308	2,327
Soude	0,902	1,125
Chaux	0,216	0,160
Magnésie	0,322	0,293
Acide sulfurique	0,406	0,201
Acide phosphorique	0,581	0,657

Cette composition, est très variable d'ailleurs, suivant les engrais et la nature du sol.

Sans faire le calcul des bases non combinées aux acides minéraux, en remarquant seulement que les poids moléculaires des acides sulfurique et phosphorique sont sensiblement égaux à celui de la potasse, et supérieurs à ceux de la chaux, de la soude et de la magnésie, on voit que les 2 gr. 4 d'acide sulfurique, dont nous parlions plus haut, se combineront entièrement à ces bases, mettant en liberté les acides organiques. Si donc on voulait être sûr d'avoir de l'acide

sulfurique libre dans le jus, il en faudrait une dose beaucoup plus forte que 2 gr. 4.

La coloration du jus de betterave, empêchant l'emploi des teintures indicatrices, telles que le violet de méthylaniline et l'oranger de diméthylaniline de Poirrier, qui virent seulement par les acides minéraux, mais non par les acides organiques, cette question très controversée de l'acide sulfurique, libre ou combiné, est fort difficile à résoudre.

Ce n'est pas ici le lieu de discuter cette question, fort secondaire d'ailleurs pour les jus de betteraves. Le but de l'acidification est de s'opposer au développement des ferments lactiques et surtout butyriques, dont les diverses variétés, ainsi que nous l'avons vu (**115**), se plaisent surtout en milieu neutre ou légèrement alcalin. Or, tous les acides jouissent de cette propriété : il en faudra seulement une dose plus ou moins forte, suivant leur puissance comme antiseptique vis à vis des bacilles butyriques, et il faudra aussi que cette dose reste assez faible pour que la puissance antiseptique ne se fasse pas sentir aux levures.

On voit donc qu'il est impossible *à priori* de fixer une acidité, ou la quantité d'acide sulfurique que l'on devra ajouter à un jus de betteraves ; cette quantité variant avec la nature de la betterave, dont les sels acides organiques varient eux-mêmes, au moins comme proportion, suivant les espèces, les terrains et le mode de culture. Elle varie aussi avec les quantités respectives d'eau ou de vinasse ajoutées à la râpe ou à la diffusion. Le chiffre que nous avons donné (**165**) de l'acidité de 2 grammes n'est donc qu'une indication moyenne, mais nullement absolue.

Le seul moyen connu et pratique, pour s'assurer que l'acidité est suffisante, est de contrôler l'acidité initiale et finale de chaque cuve ; l'acidité doit augmenter de 0,15 à 0,2 au plus par litre. Ainsi, une cuve mise en fermentation avec une acidité de 2 gr. 8 devra tomber avec une acidité de 3 grammes au plus, augmentation due aux acides succinique et acétique secrétés par la levure. Une plus forte augmentation indiquerait la présence des ferments butyriques.

Si cette augmentation se produit lentement, on

pourra l'enrayer par une légère diminution de la proportion des vinasses et une augmentation de l'acide sulfurique; si elle se produit brusquement, il est préférable d'arrêter le mal à son origine en liquidant les vinasses, et de repartir sur une diffusion à l'eau après un nettoyage minutieux de tous les appareils, depuis le coupe-racines jusqu'aux cuves de fermentation. Ajoutons que, bien que des cuves marchent encore fort bien avec des acidités de 3 gr. 5 et même 4 grammes par litre, il serait imprudent de dépasser ces limites, sous peine de voir les fermentations se ralentir, ou même s'arrêter. Le remède est le même, mais ne pas songer à neutraliser les vinasses par la potasse ou la chaux, les sels organiques de ces deux bases étant décomposables par l'acide sulfurique que l'on rajoute ensuite.

Pour provoquer l'acidité, on emploie presque toujours l'acide sulfurique, et très rarement l'acide chlorhydrique malgré son bon marché. En effet, si l'on travaille en macérateurs ouverts, les vapeurs qu'il répand dans la distillerie peuvent rendre le travail gênant ; si l'on travaille en diffusion, il attaque davantage les appareils, et les jus renferment des sels de fer qui troublent ou arrêtent la fermentation.

Ce fait est facile à expliquer, si l'on considère la composition des sels organiques de la betterave saine. Parmi ces sels, en effet, nous ne voyons guère que les acétates susceptibles de se décomposer pour fournir de l'acide acétique volatil; les autres acides organiques, acides malique, pectique, citrique, oxalique, aspartique, etc., étant tous fixes, seront déplacés de leurs combinaisons, au moins en partie, par l'acide sulfurique, mais ne sauraient l'être par l'acide chlorhydrique volatil.

La même raison explique, même pour ceux qui repoussent l'hypothèse de l'acide sulfurique libre, qu'on puisse avoir dans les jus de l'acide fluorhydrique en liberté. La dose d'acétates, préexistant dans la betterave, est en effet assez faible ; les premières portions d'acide sulfurique ajoutées mettent d'abord en liberté l'acide acétique volatil, et il suffit que celui-ci se trouve dégagé de ses combinaisons pour que l'acide fluorhydri-

que, également volatil, reste libre. L'acide fluorhydrique, ainsi que l'a indiqué le docteur Effront, est l'antiseptique le plus puissant contre les fermentations butyriques; nous en parlerons plus longuement à propos des levains et des fermentations des matières amylacées, et ce que nous en verrons est applicable aux jus de betteraves.

(172) *Installation d'une distillerie de betteraves. Dimensions des divers appareils.*

Supposons que nous ayons à installer une distillerie devant travailler 100.000 kilogrammes de betteraves par vingt-quatre heures, soit 4.167 kilogrammes par heure.

A cause des arrêts, changements de couteaux, nettoyages, etc., il nous faudra prendre les laveur, épierreur, transporteurs, coupe-racines, capables de travailler sans difficulté 5.000 kilogrammes de racines par heure, au minimum.

Les diffuseurs sont chargés, en moyenne, de 55 kilogrammes de cossettes fraîches (faîtières) par hectolitre de capacité utile, ou capacité comprise entre les faux-fonds perforés. Si donc, nous prenons une batterie de douze diffuseurs, devant marcher à raison d'un tour de batterie toutes les deux heures, la batterie devra contenir tous diffuseurs pleins :

$$4.167 \times 2 = 8.334 \text{ kilogrammes de cossettes,}$$

$$\text{ou avoir } \frac{8.334}{55} = 132 \text{ hectolitres de capacité utile totale,}$$

$$\text{soit par diffuseur } \frac{152}{12} = 12 \text{ hect. } 6.$$

Dans ces conditions, et surtout avec l'emploi des vinasses, on peut obtenir un épuisement presque absolu des cossettes, inférieur à 0,15, avec une extraction de liquide correspondant à 125 ou 140 litres de jus par 100 kilogrammes de betteraves, suivant la richesse de celles-ci. On pourrait même réduire cette extraction à 100 litres, si l'on avait des betteraves trop pauvres, sans compromettre l'épuisement.

Les presses à cossettes ont un débit variable, suivant le système adopté : les presses Klusemann, que

nous avons vues comme les plus employées, correspondent en général à un travail de 60.000 kilogrammes de betteraves. Il nous faudra donc deux de ces presses.

A la richesse moyenne de 10 % en sucre, et au rendement alcoolique de 0,6, les 100.000 kilogrammes de betteraves devraient nous produire journellement :

$$\frac{100.000 \times 10}{100 \times 100} \times 0{,}6 = 60 \text{ hectolitres d'alcool } 100^\circ,$$

comptés dans les flegmes ; mais nous devons prévoir que, dans des années favorables, ou pour certains lots de betteraves, cette richesse pourra atteindre 12 %, donnant une production quotidienne de :

$$\frac{100.000 \times 12}{100 \times 100} \times 0{,}6 = 72 \text{ hectolitres},$$

et c'est sur cette puissance de production, ou tout au moins sur une puissance de 70 hectolitres d'alcool à 100° par jour, comptés dans les flegmes, que nous devrons choisir la colonne à distiller, et le rectificateur s'il y a lieu, et cela quelque soient le système ou la combinaison adoptés. On devra seulement tenir compte des repassages de mauvais ou de moyens goûts, suivant le modèle choisi, et suivant la qualité que l'on veut obtenir, ainsi que nous l'avons vu à la théorie de la distillation et de la rectification.

Cette puissance, que nous venons de calculer pour les appareils, ne peut paraître exagérée, car nous avons adopté le coefficient 0,6, qui tient compte des pertes. En matière d'appareils, et dans une certaine limite, le proverbe : « *Qui peut plus, peut moins* » est justifié, tandis que l'inverse l'est rarement. Le chiffre ci-dessus s'applique donc à la production maximum, garantie par le constructeur qui fournit l'appareil, plus qu'aux chiffres qu'indiquent les catalogues. On doit en outre pouvoir rattraper le temps que ferait perdre un arrêt imprévu de courte durée, en évitant le plus possible de retarder la cuverie, c'est là l'important.

Les appareils précédents sont calculés dans leurs détails et garantis par les constructeurs, nous ne nous y arrêterons pas davantage, et passerons à l'étude de la

cuverie, véritable atelier de transformation du sucre en alcool et qui doit attirer tous les soins du distillateur. C'est de la cuverie, en effet, que dépendent surtout les bons ou mauvais rendements.

Ainsi que nous l'avons vu, la quantité de jus produite à la diffusion, par les 100.000 kilogrammes de betteraves, variera de 1.250 à 1.400 hectolitres. (Par les presses continues, on obtiendrait 1.800 hectolitres). Nous prendrons 1.400 hectolitres, et, en admettant pour la fermentation une durée de vingt-quatre heures, nous aurons toujours en travail dans la cuverie 1.400 hectolitres de jus. Pour éviter les débordements de mousses, il est prudent de donner aux cuves une capacité 10 % plus forte que le volume du jus qu'elles doivent contenir, ce qui représente une capacité totale de cuves de

$$1.400 + 140 = 1.540 \text{ hectolitres.}$$

En outre, pour permettre les nettoyages, parer aux accidents, retards de fermentation ou de la colonne, on doit se ménager une cuve en plus que le strict nécessaire.

Si donc on veut, par suite de l'emplacement, disposer six cuves dans la cuverie, le travail devant être possible par cinq cuves, la capacité de chaque cuve devra être :

$$\frac{1.540}{5} = 308 \text{ hectolitres,}$$

ou, en chiffre rond, 300 hectolitres environ.

En adoptant pour les cuves la proportion généralement admise $h = 1,2\ d$, dans laquelle h est la hauteur de la cuve, et d son diamètre moyen, nous aurons :

$$\frac{\pi\ d^2}{4} \times 1,2\ d = 30^{m3},$$

d'où :

$$d = \sqrt[3]{\frac{30}{0,3\ \pi}} = 3^m,170,$$

et par suite :

$$h = 1,2\ d = 3^m,805.$$

Cette proportion de $h = 1,2\ d$ n'est qu'une moyenne que l'on modifie légèrement, suivant la dimension des

matériaux, fer ou bois, de façon à construire, avec la plus grande économie, depuis $h = d$ pour les grandes cuves, jusqu'à $h = 1,4\ d$ pour les petites cuves.

Nous n'attachons pas une grande importance à la dimension des cuves, au moins en France et dans les climats similaires, surtout pour la distillation de la betterave qui ne se travaille qu'en saison froide ; car, en observant bien la température au moment de l'encuvage, on peut toujours être sûr d'éviter les échauffements de fermentation, surtout avec des levures soignées. Les grandes cuves sont plus économiques, à capacité égale de cuverie ; la seule limite à leur imposer, est : qu'il n'est pas bon de laisser une cuve tombée, plus de cinq à six heures en vidange, avant d'aller à la colonne. A ce moment, en effet, la levure n'agit plus, ne dégage plus d'acide carbonique, l'air rentre dans la cuve et vient au contact du liquide fermenté, amenant avec lui les germes de l'atmosphère, toutes conditions favorables au développement de la fermentation acétique et des mucédinées. Aussi après chaque cuve vidée, répétons-le, il faut procéder à un lavage énergique de la cuve à l'eau et à la brosse, et, si le ferment acétique s'est montré, compléter ce lavage par un badigeonnage à la chaux ou au bisulfite. Avec ce dernier, on termine par un lavage à l'eau, avant le coulage, pour éviter les odeurs d'acide sulfureux, et son action sur la levure.

De même, on peut faire les cuves indifféremment en bois où en tôle ; lorsque la cuverie est indépendante et les cuves à l'abri des courants d'air la tôle est plus économique, et une couche de vernis intérieur met les cuves à l'abri de l'attaque par les acides. Mais dans les petites installations où les cuves sont placées dans l'unique atelier de la distillerie, exposées à tous les vents, il est préférable de les prendre en bois de sapin, rouge généralement. Il faut que l'intérieur soit raboté avec le plus grand soin, et les douelles parfaitement affleurées pour que les nettoyages soient faciles.

Fer ou bois, ces cuves doivent être peintes à l'huile sur leur surface extérieure, et même sous le fond que l'on doit pouvoir visiter et nettoyer facilement. Pour cela les cuves sont placées au-dessus du sol, sur des

poutrelles, ou des murs assez élevés pour permettre le passage d'un homme.

Les cuves en fer se font cylindriques, les cuves en bois légèrement coniques et le plus petit diamètre à la partie supérieure.

Que l'on travaille par fermentation continue ou par levains, il est toujours bon d'avoir le tuyau de communication des cuves tel que nous l'avons indiqué (**165**) figure 55. On a en effet ainsi un moyen de remédier à des échauffements, ou à des ralentissements de fermentation. On peut aussi, pour parer à ce dernier accident, installer dans chaque cuve un petit barboteur d'air stérilisé, mais dont on ne devra faire usage que dans ce cas seulement ; car en fermentation normale, l'emploi exagéré de l'air occasionne une perte d'alcool tant par évaporation que par surproduction de levure.

Pour pouvoir régler la température en cas d'échauffement ou de refroidissement, il est commode d'avoir dans les cuves un serpentin placé vers la partie médiane, et dans lequel on peut faire circuler de l'eau chaude ou de l'eau froide suivant les besoins. Mais ces serpentins fixes, assez coûteux, sont aussi gênants pour le nettoyage des cuves, et servent si rarement lorsque le travail est conduit avec soin, que l'on préfère souvent s'en passer. Il vaut mieux avoir un serpentin mobile que l'on transportera, le cas échéant, dans la cuve malade en le réunissant par un manchon de caoutchouc à la conduite d'eau froide.

Ces ennuis s'évitent surtout par une acidité bien surveillée, et par la régularité de la température du liquide au moment du coulage. Pour obtenir cette régularité on a quelquefois recours aux *cuves préparatoires*.

Dans le procédé de la diffusion, ces cuves sont simplement les bacs mesureurs. Grâce aux calorisateurs de la batterie on peut toujours s'arranger pour obtenir la température que l'on préfère pour la fermentation. D'un autre côté, on vérifie l'acidité des jus dans ces bacs, et on la complète par l'acide sulfurique dilué avant d'envoyer au coulage.

Dans le procédé de la macération, où l'on n'est pas maître de la température, il est indispensable d'inter-

poser un appareil tubulaire qui puisse réchauffer ou refroidir le jus, suivant les besoins. On règle la quantité d'acide très simplement, en augmentant ou diminuant la dose versée dans chaque macérateur pendant toute la durée du chargement des cossettes.

Tout dans la cuverie doit être disposé pour faciliter la propreté, non seulement des cuves, mais du bâtiment lui-même.

Le sol doit être dallé, ou mieux bitumé ou garni de ciment, et avoir une pente suffisante pour éviter toute stagnation d'eau ou de liquide. Les murs doivent être totalement recouverts d'un enduit lisse pour pouvoir être lavés. Nous recommandons de mettre un enduit de ciment jusqu'à un ou deux mètres du sol; tout le reste jusqu'en haut sera ravalé en plâtre, puis recevra deux couches d'un vernis tel que l'émail-porcelaine. C'est très facile à entretenir propre par un lavage à l'éponge.

Il faut installer pour l'eau des robinets à raccords sur lesquels on puisse adapter des tuyaux, en toile ou en caoutchouc avec lances, disposés pour permettre de nettoyer tous les points.

Dans la construction, on doit ménager l'aération facile de la cuverie, et les moyens de la chauffer en hiver, en sorte que la température y soit régulière dans toutes les parties, ce dont on s'assure par des thermomètres bien en vue. On doit enfin réserver au ras du sol quelques évents pour l'écoulement de l'acide carbonique.

Les fenêtres seront orientées autant que possible du côté du nord, pour permettre l'entrée d'un jour assez abondant, sans toutefois laisser pénétrer les rayons solaires directs, et, si cette orientation n'est pas possible, les fenêtres seront garnies de stores.

Toutes ces dispositions de propreté, seront à plus forte raison, observées pour la construction de l'atelier des levains que l'on établit aussi près que possible de la cuverie ; pour ce dernier atelier, on aura soin de ménager, à chaque tuyau, une prise de vapeur permettant de le stériliser. Les lavages des cuves se feront avec de l'eau stérilisée par un peu de chlorure de chaux, et en dernier lieu avec de l'eau aussi pure que

possible, eau chaude des condenseurs ou eaux de retour.

On a parfois préconisé l'emploi des cuves fermées pour la fermentation. A cause de la difficulté de nettoyage de ce système, nous n'en sommes pas très partisans, sauf dans le cas tout à fait spécial où l'on veut recueillir l'acide carbonique dégagé pour l'employer à des fabrications accessoires. On devra alors ménager sur la cuve un grand trou d'homme facilitant le libre accès pour le nettoyage, et un tuyau d'air permettant d'en renouveler complètement l'atmosphère avant d'y faire descendre l'ouvrier. Ces cuves fermées doivent alors être munies de thermomètres à postes fixes, et de serpentins intérieurs pour en régler la température. Il est souvent impossible d'employer les cuves fermées à cause des mousses.

Nous n'insisterons pas sur les détails de construction des autres parties de l'usine ; disons seulement que pour diminuer les chances d'incendie, et par suite l'importance des primes d'assurance, il est bon d'isoler le magasin à alcool des autres ateliers de l'usine, soit par une distance de 10 mètres au moins, soit par un mur épais dépassant la toiture. Pour les mêmes raisons, il est bon de séparer la salle distillatoire de tous les autres ateliers par des murs ne présentant aucune ouverture, et de n'employer que le fer pour la construction des planchers, escaliers ou toitures.

La figure 59 donne le dessin d'ensemble de la salle des appareils dans la distillerie de betteraves de Clastres (Aisne).

L'éclairage de la salle distillatoire sera fait de préférence par des lampes électriques à incandescence, et en ayant soin de poser les fils conducteurs dans des tuyaux de plomb de façon à éviter les étincelles. Pour cette raison la dynamo devra toujours être placée dans un autre atelier. Si l'on n'a pas l'électricité à sa disposition, l'éclairage se fera par l'extérieur, à travers les vitres des fenêtres ou à travers des glaces placées ad hoc. Enfin, en cas de besoin on aura toujours à sa disposition, pour la nuit, des lampes de mineur tout allumées.

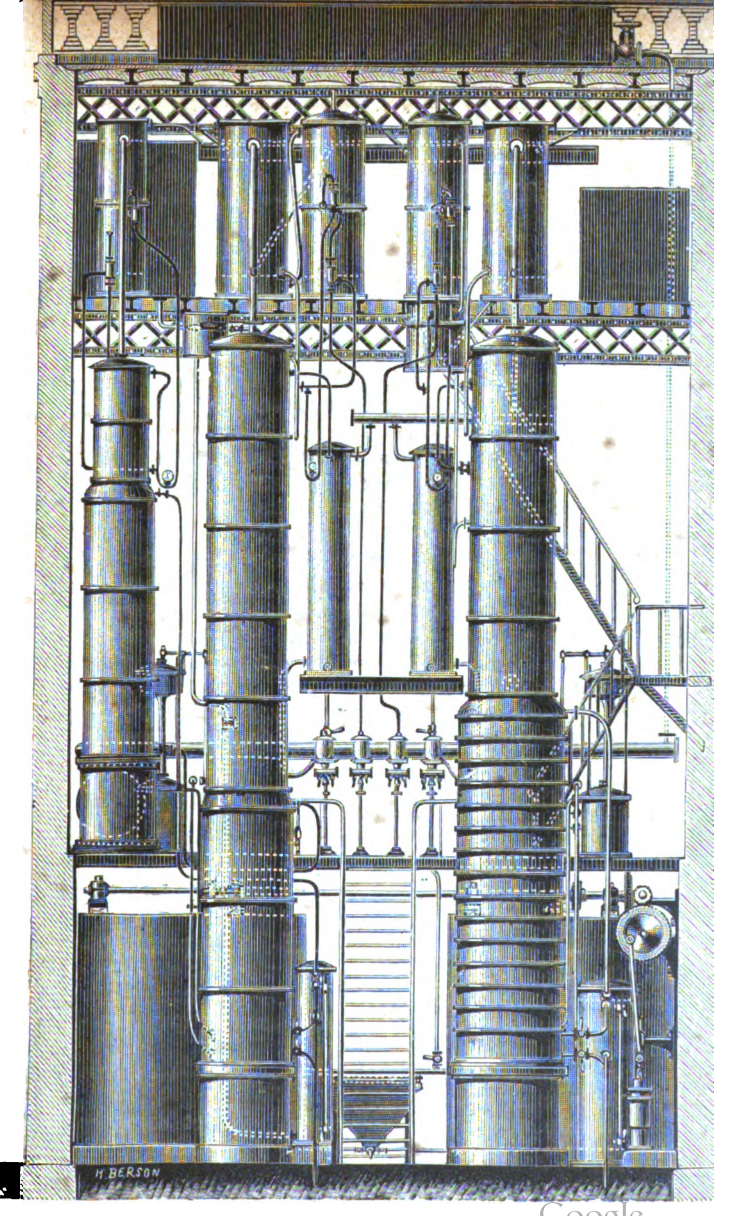


Fig. 59. — Salle des appareils de la distillerie de Clastres (Aisne).

CHAPITRE III

Distillation du Topinambour.

(173) *Particularités du travail du topinambour.*

La composition du topinambour, que nous avons vue (**85**), rapproche ce tubercule de la pomme de terre au point de vue de sa valeur pour la culture, et de la betterave au point de vue de la nature des sucres et de sa valeur alcooligène.

Si nous ajoutons à cela la facilité de cultiver le topinambour dans des terres très pauvres, à condition qu'elles ne soient pas marécageuses, la possibilité d'obtenir plusieurs récoltes consécutives sur le même terrain, la rusticité de la plante qui n'est attaquée par aucun insecte, et sa résistance à la gelée qui permet de conserver les tubercules en terre pendant l'hiver, on comprendra que les agronomes aient depuis longtemps signalé cette plante comme une des plus précieuses pour la distillerie agricole.

La culture du topinambour est en effet un des meilleurs moyens d'amender petit à petit des terrains pauvres, et de les mettre en valeur.

Malheureusement, à côté de ces avantages, le topinambour présente un gros inconvénient : c'est qu'une fois arrachés de terre et mis en tas, les tubercules s'altèrent très rapidement. En deux ou trois jours on peut observer un déchet appréciable, et au bout de six jours ils ne valent plus rien.

Il faut donc les conserver en terre, et ne procéder à la récolte et au transport à l'usine qu'au fur et à mesure des besoins, tout comme pour la récolte et le transport des cannes à sucre dans les pays tropicaux.

Or, dans les climats du nord, on se bute à de gros inconvénients :

Par le temps de gelée, la terre se durcit et empêche l'arrachage, il faut donc arrêter la fabrication. Plus

tard, le dégel détrempe les champs, et les roues des chariots s'enfoncent jusqu'à l'essieu. S'il se présente beaucoup d'alternances de gelée et de dégel pendant la période de récolte, de novembre à mars, la distillerie est exposée à une série fort désagréable de chômages et de remises en route.

Donc, bien que le topinambour ait l'heureuse propriété de résister à la gelée, on ne peut guère lui donner la préférence que dans les régions à l'abri des fortes gelées, c'est-à-dire, pour la France, dans les pays situés au-dessous de la Loire ; là, en effet, il est bien rare que la terre durcisse au point d'empêcher l'arrachage, surtout lorsque le terrain est d'une nature légère et sablonneuse.

La véritable supériorité du topinambour sur les autres plantes industrielles, est de pouvoir être cultivé dans des terrains très pauvres qui ne conviendraient ni à la betterave ni à la pomme de terre ; mais néanmoins, comme toutes les plantes, son rendement à l'hectare est d'autant plus fort que le sol est meilleur, et que l'on y a mis plus de fumure et d'engrais ; ce rendement peut varier de 8.000 à 50.000 kilogrammes à l'hectare. On trouvera tous les détails de cette culture dans les traités d'agronomie.

Le travail industriel des topinambours, présente avec celui des betteraves les plus grandes analogies. Le lavage devra être fait avec plus de soin, à cause des formes contournées du tubercule, qui retiennent la terre et les pierres plus fortement que dans la betterave. A part cela, ce que nous avons dit pour la fermentation et la distillation des moûts de cette dernière plante s'applique entièrement au topinambour, et nous n'aurions pas à y insister davantage s'il n'y avait une légère différence, mais *fort importante*, dans la préparation des moûts.

(174) *Préparation des moûts de topinambours. Saccharification.*

Les topinambours présentent à peu près la même composition que les betteraves ; ils en diffèrent seulement par la nature de la matière sucrée qui, au lieu

d'être du saccharose, est ici un mélange de lévuline et d'inuline associées à un peu de glucose.

Si nous nous reportons aux propriétés des sucres (82), nous voyons que la lévuline diffère surtout du sucre de canne par la résistance qu'elle oppose à l'inversion, soit par les acides, soit par la sucrase. Par les acides étendus, elle nécessite une ébullition prolongée d'au moins une heure ; sans cette inversion, la sucrase sécrétée par les ferments agit si lentement que la fermentation devient interminable.

D'autre part, l'inuline n'est pas soluble à froid, et exige pour se dissoudre une température d'au moins 85°. Elle demande aussi à subir une inversion pour devenir fermentescible, inversion qui se produit à chaud par les acides étendus, mais qui ne peut être provoquée par l'amylase du malt.

On voit donc qu'ici, on ne peut guère songer à employer les presses qui, travaillant à froid, ne sauraient extraire l'inuline, ce qui occasionnerait une perte sèche en alcool assez considérable. Le malt n'agissant pas, on ne saurait davantage songer à la cuisson et saccharification par le malt analogue au travail des pommes de terre, ainsi que cela a été proposé, puisqu'alors l'inuline resterait également dans les drêches.

Le seul procédé actuellement pratique est la diffusion ou macération que l'on pratiquera comme pour la betterave, mais en maintenant d'un bout à l'autre de la batterie une température d'au moins 85°, et mieux voisine de 90°. Nous ne disons pas de pousser beaucoup plus haut, car vers 100° les cossettes cuiraient, et se réduiraient en bouillie gênante pour la marche de la batterie et la suite du travail.

On fait la diffusion avec les vinasses, comme dans la diffusion des betteraves et pour les mêmes raisons. Seulement ici, comme il faut maintenir d'un bout à l'autre de la batterie une température élevée, les vinasses devront arriver aussi chaudes que possible ; il faut donc une colonne à distiller à chauffe-vin et non pas à récupérateur.

La macération est également employée pour l'extraction du jus des topinambours ; mais, pour éviter que l'inuline dissoute dans les macérateurs de queue vînt

se précipiter dans les macérateurs de tête, par suite de l'abaissement de température, il a fallu ajouter des calorisateurs entre les macérateurs, ou tout au moins des barboteurs au fond de chacun d'eux. La macération se confond alors avec la diffusion, à cela près que l'on a des cuves ouvertes au lieu de diffuseurs fermés. Nous préférons la diffusion comme plus sûre et plus régulière.

Les jus ainsi extraits renferment tous les sucres des tubercules, mais incomplètement saccharifiés ; la lévuline principalement réclame une ébullition prolongée pour s'invertir. En pratique, cette ébullition doit être maintenue près d'une heure.

Pour cela, on règle l'acidité du jus aux bacs mesureurs, exactement comme nous l'avons vu pour la betterave, de façon à avoir une acidité sulfurique de 2 g, 5 environ par litre, acidité qui peut être due en partie aux acides organiques, mais qui doit cependant comporter de l'acide sulfurique libre, nécessaire ici pour l'inversion, puis pour la fermentation comme dans les moûts de betteraves.

Cette acidité contrôlée, et l'acide sulfurique nécessaire une fois ajouté, le jus est envoyé au saccharificateur. Le saccharificateur est simplement un bac muni d'un serpentin de chauffage, et surmonté d'une hotte pour enlever les vapeurs. On y maintient une douce ébullition pendant une heure, et, vers la fin du chauffage, pendant les dix dernières minutes environ, il est bon d'y faire barbotter un courant d'air, ce que l'on obtient facilement par un injecteur d'air Kœrting ou autre. Ce courant d'air entraîne ou oxyde certains produits à odeurs désagréables qui ne gêneront plus ensuite à la colonne à distiller ni dans les flegmes.

Le jus est alors refroidi à 22-24°, puis envoyé à la cuverie. Ce refroidissement peut être opéré dans le saccharificateur même par un courant d'eau froide, ou, si l'on est limité pour la quantité d'eau froide, on peut combiner un récupérateur spécial de la chaleur.

Le nombre de saccharificateurs nécessaires varie suivant les installations de 2 à 3. Le nombre de 3 est le plus commode, chacun des 2 saccharificateurs ayant une capacité correspondant à la production de la bat-

terie de diffusion pendant une heure. On a ainsi un saccharificateur en marche, un en vidange et un en remplissage, et on peut les disposer de façon à ce qu'ils servent de mesureurs qui sont ainsi économisés.

On remarquera que la totalité des jus, ainsi extraits et saccharifiés, est stérilisée par la chaleur, mais à peu près privée d'air par l'ébullition. Une stérilisation spéciale pourra donc être évitée à la fabrication des levains dont l'atelier sera ainsi simplifié.

Les fermentations du topinambour sont très pures, les moûts étant débarrassés de ferments secondaires; aussi les distilleries de topinambours, qui sont généralement des usines agricoles de petites dimensions, se dispensent elles de faire des levains, et il n'est pas rare de voir toute une campagne s'achever sans que l'on renouvelle la levure.

Dans ce cas, le travail se fait par fermentation continue, ou coupages successifs ; chaque cuve produisant la levure qui lui est nécessaire, il sera bon de pouvoir fournir l'air utile à la multiplication des cellules.

Seulement, il ne faut pas abuser de l'aération, sinon, grâce à la richesse en azote assimilable des jus de topinambour, la levure se multiplierait avec une rapidité très grande ; multiplication qui, comme nous l'avons vu en parlant de l'action de l'air sur les levures (**111**), ne se produit qu'au détriment du sucre.

La grande prolification des levures, dans la fermentation du topinambour, a été remarquée depuis longtemps par les distillateurs qui ont travaillé ce tubercule, et l'on a indiqué qu'il y avait intérêt à écumer de temps en temps l'excès de levure : elle constitue un aliment dont les porcs sont très friands, et qui leur est essentiellement profitable. Nous ne contredisons pas à cet emploi de la surproduction des levures, mais, si nous considérons que la production de 25 grammes de levures sèches nécessite la consommation de 100 grammes de sucre sans production d'alcool (**111**), c'est là de la graisse de porc qui coûterait bien cher, et le véritable intérêt nous paraît être précisément d'empêcher cette surproduction de levure. On y arrivera facilement en travaillant par levains, ou bien en évitant de faire de trop gros coupages de cuve.

(**173**) *Contrôle du travail. — Emploi des résidus.*

Le contrôle du travail se fait dans les différents ateliers comme pour les betteraves. Il n'en diffère que par quelques difficultés du contrôle chimique.

En effet, par suite de la variabilité des proportions des divers sucres, soit avant soit après inversion, on ne peut employer le saccharimètre ou les liqueurs cuivriques séparément, et il faudrait se livrer à l'analyse longue et complexe dont nous avons indiqué la méthode (**76**). On se contente pratiquement de faire ce dosage par fermentation après une inversion par ébullition de deux heures ; mais cette fermentation, durant elle-même deux jours, on voit que l'on ne pourra pas aussi sûrement que pour la betterave, établir d'avance ses rendements probables par la richesse en sucre, principalement pour le contrôle de la diffusion.

On pourra néanmoins se servir de l'inversion et des liqueurs cuivriques pour contrôler les épuisements avec une approximation suffisante. Pour cela, en même temps que l'on fera une analyse de topinambour par fermentation, on prélèvera un volume déterminé du jus inverti sur lequel on fera un dosage par la liqueur cuivrique : on pourra ainsi déterminer sinon le *titre en sucre* de sa liqueur cuivrique, au moins son *titre en alcool*, puis, appliquant le même titre aux pulpes et petites eaux, déterminer, dans ces dernières, la perte d'alcool d'une façon suffisamment approchée.

Les pulpes de topinambours se traitent comme les pulpes de betteraves et elles ont à peu près la même valeur, quoiqu'on les considère comme un peu inférieures à poids égal.

Dans les distilleries qui travaillent en même temps des pommes de terre, on a souvent utilisé le cuiseur pour y saccharifier le topinambour sous pression, exactement comme la pomme de terre, mais en chargeant le cuiseur de tubercules découpés en cossettes et acidifiés par l'acide sulfurique sous le coupe-racine. Le rendement en alcool ainsi obtenu était bon, mais les pulpes trop acides ne plaisaient plus au bétail.

On a alors cherché à diminuer l'acide dans le cuiseur, en saccharifiant un peu plus longtemps sous

pression, et en remplaçant le coupe-racine par une râpe ; on fermentait ensuite en moûts épais comme pour la pomme de terre. Les résultats au point de vue des résidus ont été meilleurs ; on a, au lieu de pulpe, obtenu des drêches analogues à celles des pommes de terre et plus riches en matières nutritives, mais cela au détriment de la production d'alcool, l'inversion ne se faisant complètement sans acide qu'après un temps très long.

Les drêches liquides doivent, d'ailleurs, être consommées chaudes, comme nous le verrons pour celles de pommes de terre et de grains ; on ne peut donc plus les conserver, c'est un inconvénient.

Enfin, on a cherché à compléter la réaction par une saccharification au malt à la sortie du cuiseur, exactement comme dans le travail des matières amylacées que nous verrons bientôt. Ce que nous avons dit du manque d'action de la diastase sur la lévuline et l'inuline nous fait repousser ce mode de travail.

La diastase du malt ne pouvant agir que sur l'amidon du malt, l'augmentation de rendement en alcool ne peut être attribuée qu'au malt lui-même, et non au topinambour qui, bien au contraire, rend moins d'alcool, son inuline n'étant pas saccharifiée.

L'inuline, il est vrai, n'est pas totalement perdue ; elle reste dans les drêches ainsi que les matières azotées du malt et les levures produites, on a donc des drêches bien plus nourrissantes pour le bétail. Mais le léger excédent d'alcool amené par l'amidon du malt est un alcool cher ; cet accroissement de pouvoir nutritif, dû à l'inuline non fermentée et à la substance azotée du malt, est un engraissement coûteux, et ce n'est pas un semblable procédé qui peut satisfaire le problème de la distillerie agricole : *produire la nourriture du bétail au plus bas prix possible*. Le procédé par diffusion et saccharification que nous avons indiqué est dans l'état actuel celui qui répond le mieux à cette question.

CHAPITRE IV

Distillation des Mélasses.

---

(176) *Mélasses de Sucreries et mélasses de Raffineries.*

Nous avons vu (**85**), la composition moyenne des mélasses de betterave telles qu'elles sortent des sucreries de France.

Cette richesse résulte des stipulations de la loi qui accorde au fabricant de sucre une décharge de 14 kilogrammes de sucre pour 100 kilogrammes de mélasse vendue à la distillerie, en imposant à cette mélasse une teneur minimum de 44 % de son poids en sucre cristallisable. Le fabricant a donc tout intérêt à se rapprocher le plus possible du minimum toléré ; aussi voit-on souvent la densité baisser à 38 et même 37 degrés Baumé par addition d'eau.

Par les procédés d'osmose et de sucraterie, que la loi française a fait abandonner, le fabricant non seulement retirait une plus forte proportion de sucre, mais encore concentrait dans la mélasse, formant le dernier résidu de ces opérations, toutes les impuretés qui n'existaient qu'à l'état de traces dans la mélasse primitive, telles que : raffinose, parasaccharose, dextran, mannite, arabinose, saccharine, etc. En outre, les mélasses d'osmose ont éprouvé une caramélisation plus ou moins complète des sucres dans les concentrations successives. Pour toutes ces raisons, leur travail en distillerie présente quelques difficultés spéciales.

Les mélasses de raffineries sont généralement plus riches en matières fermentescibles, grâce à la proportion de glucose qui y est introduite par le travail simultané, dans ces usines, du sucre de cannes et du sucre de betteraves ; on leur accorde une valeur plus élevée. Néanmoins, la perfection des procédés d'extraction du cristallisable appliqués dans les raffineries,

fait que ces mélasses renferment également les nombreuses impuretés que nous venons de signaler.

Donc, qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre de ces mélasses, les méthodes d'analyse ordinaires par polarisation et liqueur cuivrique seront insuffisantes pour fixer le distillateur sur le rendement probable de la matière première; il devra avoir recours à l'analyse par fermentation pour éviter toute surprise dans le rendement en alcool (1).

Un autre facteur vient, en outre, modifier la valeur des mélasses, c'est leur richesse en salins dont la proportion fournit un sous-produit d'une valeur assez considérable.

Pour fixer les idées, tant sur la valeur des mélasses que sur le mode de travail à leur appliquer dans le double but d'avoir le rendement maximum en alcool et en salins, voyons la composition moyenne des mélasses de sucrerie en France d'après les analyses commerciales:

	Minimum		Maximum	
Sucre cristallisable	44	à	46	°/o
Glucose		traces		
Sels (cendres carbonatées) . .	10	à	12	»
Eau	15	à	19	»
Matières organiques	22	à	28	»

De ces analyses, nous pouvons de suite prévoir un rendement alcoolique de 26,4 à 27,6 d'alcool 100° par 100 kilogrammes de mélasse, suivant la richesse en sucre cristallisable, au coefficient de rendement 0,6. Le rendement pratique est cependant plus élevé en général, et atteint 30 et même 32 litres par 100 kilogrammes. Cet excédent de rendement peut être attribué, partie aux erreurs d'analyse, partie aux sucres autres que le saccharose et qui sont plus ou moins fermentescibles (2).

Les cendres carbonatées nous permettent d'avoir

---

(1) L'analyse des mélasses est très délicate, en raison de tous les éléments divers qui entrent dans sa composition et agissent sur la lumière polarisée et sur les liqueurs cuivriques de façons différentes.

(2) Pour des mélasses de canne au contraire, le rendement en alcool est plutôt inférieur à celui déduit de l'analyse officielle des sucres.

une approximation sur le rendement en salins en quantité, et, en dosant la potasse de ces cendres, sur la valeur des salins ; mais il n'en est pas de même pour les matières organiques qui, dosées par différence, ne nous fournissent que de très vagues renseignements.

Remarquons tout d'abord que ce dosage par différence fait rentrer dans les matières organiques tous les composés azotés que peut renfermer la mélasse, que ces composés soient à l'état de nitrates, de nitrites ou d'ammoniaque.

Les nitrates proviennent de la betterave et ne sont sont pas éliminés par les différentes opérations de la sucrerie. L'ammoniaque provient de la décomposition de diverses matières azotées par la chaux, entre autres de l'asparagine, la plus grande partie de cette ammoniaque libre étant d'ailleurs enlevée par les ébullitions successives de la sucrerie, de la défécation à la cuite.

Les autres matières organiques existant dans les mélasses se composent pour les *matières azotées :* d'une base, la *bétaïne* ($C^5H^{11}AzO^2 + H^2O$) préexistant dans le jus de betterave, et d'*acides aspartique* ($C^4H^7AzO^4$) et *glutamique* ($C^5H^9AzO^4$), provenant des décompositions de l'asparagine et de la glutamine par la chaux à la défécation. On y trouve aussi de la *leucine* et de la *tyrosine*. (Laugier).

Les produits organiques non azotés comprennent de nombreux corps de la série des matières dites pectiques, tant acides que bases ; les divers sucres que nous avons signalés au début de ce chapitre, produits ou par les diverses opérations de la sucrerie, ou par des ferments spéciaux tels que le leuconostoc mesentéroïdes (**115**); de la coniférine, de la cholestérine, etc., et enfin de nombreux acides de la série grasse, acides formique, acétique, butyrique, lactique, etc.

Sauf de très petites quantités d'acétates, il n'y avait pas trace de ces autres acides organiques dans la betterave, ils ont donc pris naissance dans les diverses fermentations ou réactions qui se produisent dans les appareils de sucrerie, telles que les mousses aux diffuseurs, fermentation dans les filtres, fermentations dans les bacs d'attente et dans les emplis. On a discuté et l'on discute encore beaucoup sur l'origine des mousses

dans ces différents cas, les uns les attribuant à une décomposition chimique, les autres à une fermentation.

Nous ne discuterons pas ici ce problème de sucrerie ; nous retiendrons seulement que dans toutes les analyses des gaz de ces mousses on a retrouvé de l'hydrogène, et que l'hydrogène naissant, qu'il provienne de fermentation ou de l'attaque des bacs en fer par les jus, décompose les nitrates en nitrites :

$$KAzO^3 + H^2 = KAzO^2 + H^2O$$

lesquels nitrites, même en présence d'un acide dilué très faible comme l'acide acétique, se décomposent en donnant du bioxyde d'azote et un nitrate :

$$3KAzO^2 + 2C^2H^4O^2 = 2(C^2H^3O^2)K + 2AzO + AzO^3K + H^2O.$$

Or le bioxyde d'azote, par son avidité pour l'oxygène, est un antiseptique puissant qui entrave les fermentations.

Les acides formique et butyrique, dont la présence a été signalée d'abord par M. Durin puis par Maercker, sont eux aussi fortement antiseptiques à faible dose, ainsi que les acides proprionique, valérique et caprilique qui les accompagnent très probablement dans les mélasses ; mais à un degré moindre que le bioxyde d'azote. Ce sont là les diverses causes qui rendent parfois si difficile la fermentation des mélasses, sans d'ailleurs que ces diverses causes se trouvent forcément réunies dans un même produit.

(177) *Rôle de l'acide sulfurique ajouté aux mélasses.*

La légère alcalinité calcique maintenue dans toutes les opérations de la sucrerie de betteraves, alcalinité que l'on retrouve dans les mélasses, suffit à préserver les nitrites de la décomposition, et à maintenir les acides organiques à l'état de combinaison, conditions essentiellement favorables aux fermentations butyriques et lactiques signalées, ainsi que nous l'avons vu (115) ; mais lorsque, pour la fermentation, on ajoute

de l'acide sulfurique en quantité suffisante, non seulement pour saturer cette alcalinité mais encore pour donner au moût une acidité d'environ 2,5 à 3 grammes par litre, les nitrites se trouvent instantanément dans les conditions favorables à leur décomposition, et les acides gras sont mis en liberté.

Pour nous rendre un compte exact de l'effet produit par l'addition d'acide sulfurique dans les mélasses, voyons d'abord la composition des cendres carbonatées. Pour, les mélasses de betterave, ces cendres se composent en moyenne de :

Carbonates (évalués en K^2Co^3) . . .	67,85
Chlorures	21,40
Sulfates	8,41
Insoluble	2,34
	100,00

C'est-à-dire que pour des mélasses à 10 % de cendres, nous aurions, par 100 kilogrammes de mélasse, 6 k.,785 de carbonate de potasse, ou, plus exactement, la quantité correspondante de cette base alcaline combinée à des acides organiques En supposant pour un instant que nous préparions les moûts de fermentation à raison de 25 kilogrammes de mélasse par hectolitre de moût, un semblable moût renfermerait par hectolitre :

$$\frac{6,785}{4} = 1 \text{ k. } 676,$$

ou 16 gr. 76 de $K^2 CO^3$ par litre.

Or, l'on sait que l'acide sulfurique déplace immédiatement les acides organiques de leurs combinaisons, il déplace même la plupart des acides minéraux comme l'acide chlorhydrique, et nous voyons que dans le cas présent, pour avoir dans le moût une *acidité minérale* réelle, il nous faudrait faire passer tous ces sels organiques à l'état de sulfate, c'est-à-dire ajouter par litre de vin :

$$\frac{16,96 \times 98}{1,38} = 12 \text{ gr. } 04$$

d'acide $SO^4 H^2$ par litre, 98 et 138 étant les poids moléculaires respectifs de l'acide sulfurique et du carbonate de potasse.

Evidemment, l'addition d'une semblable dose d'acide sulfurique serait absurde, tant pour la fermentation que pour la production des salins qui, ainsi transformés en sulfates, seraient d'une valeur presque nulle. Aussi nous n'avons établi le petit calcul précédent que pour réfuter l'opinion généralement admise que : l'acide sulfurique ajouté aux mélasses agit directement à l'état de liberté pour la décomposition des nitrates, l'inversion des sucres, et fournir aux moûts l'acidité minérale indispensable à la fermentation.

Comme nous venons de le voir, l'acide sulfurique ne saurait rester à l'état de liberté dans un semblable moût aux doses que l'on ajoute pratiquement ; mais, en raison de la même loi de Berthollet qui fait que l'acide sulfurique déplace les acides organiques, il déplacera tout d'abord parmi ceux-ci les acides les plus volatils, c'est-à-dire précisément les *acides gras volatils* nuisibles à la fermentation, acides formique, acétique, butyrique, et ce n'est qu'ensuite qu'il déplacera les acides fixes tels que les acides lactique, tartrique, citrique, etc. Or, ces derniers, à dose convenable, non seulement ne sont pas nuisibles à la fermentation, mais sont même parfois supérieurs à l'acide sulfurique comme agents antiseptiques contre les fermentations secondaires, tel, par exemple, l'acide tartrique.

Ces principes théoriques remis en mémoire, voyons comment on opère en pratique pour obtenir les plus forts rendements en alcool et en salins.

(178) *Préparation des moûts. — Dénitrage.*

La mélasse n'étant en somme qu'une solution impure et concentrée de sucre, il suffirait, pour l'amener à l'état de moût fermentescible, de la diluer dans une quantité d'eau suffisante pour ramener la richesse saccharine de la dilution entre 8 à 15 kilogrammes de sucre par hectolitre, soit, en pratique, de 8 à 10° Baumé suivant les usines.

Mais, ainsi que nous l'avons vu, un semblable moût serait exposé à de nombreux accidents de fermentation, soit par la présence du bioxyde d'azote,

soit par la présence des acides gras, soit pour ces deux causes réunies. L'élimination de ces impuretés se fait d'ailleurs, dans les deux cas, de la même façon, par l'opération du dénitrage qui se pratique ordinairement comme suit :

La mélasse, élevée par une pompe à l'étage supérieur de l'atelier, est diluée d'abord simplement à 28-30° degré Baumé, quelquefois même à 20° seulement, par de l'eau chaude dans laquelle on a préalablement versé la quantité d'acide sulfurique nécessaire [1]. Cette dilution, suivant les installations, peut être faite soit dans un bac mélangeur spécial garni d'un agitateur mécanique, soit dans le dénitreur même.

Le dénitreur est simplement un bac, surmonté d'une hotte de tirage avec cheminée, muni d'un chauffage par serpentin ou par barboteur, et dans lequel la mélasse acidifiée est introduite, puis chauffée à l'ébullition pendant un quart d'heure au moins. Cette ébullition chasse les gaz renfermés, dont le bioxyde d'azote s'il existe, et celui-ci arrivant au contact de l'air se transforme immédiatement en hypoazotide reconnaissable à ses vapeurs rouges, et dangereux à respirer, ce qui explique la nécessité de la hotte. En outre, les vapeurs d'eau produites par l'ébullition, entraînent avec elles les acides volatils nuisibles à la fermentation, ainsi que des quantités appréciables d'ammoniaque ou d'amines provenant de la décomposition des sels formés par ces bases avec les acides gras, sels instables au-dessus de 90°, et qui, s'ils ne sont pas bien gênants pour la fermentation, se dédoubleraient ensuite dans la colonne à distiller, communiquant aux flegmes une odeur repoussante, si les bases dégagées n'étaient chassées par cette opération préliminaire.

On voit donc l'utilité du dénitrage à ces divers points de vue, mais on a souvent reproché à l'opération ainsi conduite de caraméliser une partie du sucre, surtout lorsque la caramélisation était déjà commencée dans les mélasses. Aussi conseillerons-nous d'ajouter aux organes de chauffage du dénitreur un barbo-

---

(1) Voir plus loin la dose d'acidité à employer.

teur d'air, ce qui est facile lorsqu'on installe l'air comprimé pour les levains et fermentations, ou à défaut par un injecteur-souffleur à vapeur qui agit tant par barbotage de vapeur que par injection d'air. Il n'est plus alors indispensable de chauffer jusqu'à ébullition, mais seulement à 90° ; l'air en traversant le liquide entraîne mécaniquement les matières volatiles et les gaz étrangers.

Tous ceux qui ont pratiqué cette opération industriellement savent que, dans ces conditions, la totalité du sucre des mélasses n'est pas invertie même après un quart d'heure d'ébullition, alors que dans le laboratoire on produit journellement l'inversion du sucre de canne à des températures beaucoup plus basses, avec des acidités beaucoup plus faibles et en un temps plus court. Cela prouve ce que nous avancions plus haut, qu'il n'y a pas d'acides minéraux libres dans un pareil mélange, car, comme on le sait, l'inversion par les acides organiques est beaucoup plus difficile et plus lente.

Peu nous importe d'ailleurs que cette inversion soit complète, pourvu qu'elle soit commencée, puisque la levure la complètera par sa sucrase ; le véritable but du dénitrage n'est pas l'inversion du sucre, mais l'expulsion des impuretés antiseptiques.

Nous n'avons indiqué jusqu'ici que les dispositions essentielles du dénitrage, on voit qu'il peut donner lieu à des dispositifs nombreux, soit que l'on fasse la dilution dans le dénitreur, soit qu'on la fasse avant. Enfin, au point de vue de l'économie du combustible, puisqu'il faut ensuite refroidir la mélasse ainsi chauffée à la température de 25° pour former le moût, il est rationnel d'appliquer une disposition permettant de récupérer la chaleur des mélasses chaudes pour l'échauffement des mélasses à dénitrer. On pourra pour cela adopter une disposition analogue à celle que nous avons indiquée pour la stérilisation des jus de betteraves servant à la fabrication des levains (**166**) comprenant 2 ou 3 dénitreurs et un récupérateur de chaleur.

M. Barbet a également imaginé un appareil continu pour dénitrer les mélasses ; il se compose d'un dénitreur entièrement en cuivre, de forme un peu élevée,

et divisé sur sa hauteur par quelques cloisons transversales qui forcent la mélasse entrant par le haut à faire un certain circuit avant de gagner le tuyau de sortie placé à la partie inférieure. La mélasse, préalablement diluée dans des cuves placées plus haut, vient traverser les tubes d'un récupérateur tubulaire où elle s'échauffe, en refroidissant la mélasse chaude sortant du dénitreur et qui vient circuler autour des tubes. Cette disposition, qui a donné d'excellents résultats au point de vue du dénitrage, offre surtout cet avantage que, grâce à la faible dépense de combustible et d'eau de refroidissement, on peut dénitrer la mélasse fortement diluée. On peut même pousser la dilution jusqu'à l'état de moût, c'est-à-dire non seulement dénitrer les mélasses, mais encore opérer une stérilisation complète et irréprochable, sans augmentation exagérée de la dépense, ce qui assure la régularité absolue des fermentations.

(**179**) *Fermentation des mélasses.*

La mélasse sortant du dénitreur, quelqu'en soit le système, tombe dans les cuves préparatoires où elle est refroidie à la température convenable, et diluée au degré Baumé adopté pour le moût. Celui-ci est alors envoyé dans les cuves de fermentation.

Ce que nous avons dit de la fermentation des jus de betteraves s'applique presque en entier à la fermentation des mélasses sauf que celles-ci, trop pauvres en matières azotées assimilables, et plus sujettes à des accidents de fermentation se prêtent mal à la fermentation continue. Il faut adopter le système de fermentation par pieds de cuves, soit que l'on procède par pieds formés de moût dans lequel on a délayé des levures du commerce, soit que l'on procède par levains de grains comme nous le verrons pour le travail des matières amylacées, soit enfin que l'on emploie exactement le procédé que nous avons indiqué (**166**) pour la fabrication des levains avec les jus de betteraves. La seule différence est qu'ici il faut ajouter un peu plus de peptone dans le moût stérilisé où se développera le levain.

A part cela le travail est identique, nous n'y reviendrons pas (¹).

En France, le degré adopté pour les moûts varie de 8° à 10° Baumé, ainsi que nous l'avons dit, correspondant au maximum de 25 kilogrammes de mélasse par hectolitre envoyé aux cuves. Nous verrons à propos des salins qu'il y aurait économie de combustible notable à faire les fermentations à degré plus élevé, comme cela se pratique en Belgique. Avec un bon dénitrage et une mise en levain soignée, il n'y a aucune difficulté à faire fermenter des moûts à 30 et même 33 kilogrammes de mélasse par hectolitre. La mise en levain d'un semblable moût, qui serait coûteuse avec des levures achetées, devient très pratique lorsque les levains sont préparés à l'usine même.

Une autre particularité du travail des mélasses est que, par la présence simultanée dans le moût de chaux et d'acide sulfurique, il se forme dans les cuves un dépôt calcaire qui s'accentue pendant la fermentation, et à la fin de celle-ci le dépôt est assez abondant. Certains industriels évitent d'envoyer ce dépôt à la colonne à distiller dont il encrasserait rapidement les plateaux et surtout les serpentins. Dans ce but on dispose dans la cuverie un bac de décantation où l'on reçoit les dépôts avec les eaux de lavage des cuves. Après décantation, les eaux chargées d'alcool sont envoyées à la colonne, et le dépôt calcaire mélangé de levures mortes forme un bon amendement pour les terres.

En Belgique, où l'impôt basé sur la capacité des cuves de fermentation oblige les distillateurs à fermenter très vite et à haute densité, les doses de levure que l'on emploie atteignent des chiffres fantastiques. Une distillerie qui travaillera 20.000 kilogrammes de mélasses par 24 heures emploiera très bien 3.000 kilogrammes de levure par jour.

Dans ces conditions, la levure morte forme après fermentation des dépôts très considérables ; on ne la laisse pas dans les vins. Au lieu d'opérer par lavage et décantation du dépôt, on fait une filtration par deux

(1) Voir dans *L'Alcool et le Sucre*, 1re année, nos 1 et 2 : « Les Levures pures de vin en Distillerie », par *G. Jacquemin*.



filtres-presses, et l'on ne distille qu'un vin limpide. On y trouve le double avantage d'obtenir des flegmes plus purs (car le chauffage de la levure engendre de très mauvaises odeurs), et de retirer une substance très azotée (5 % d'azote) dont la valeur comme engrais est importante. On fait sécher cet engrais sur les générateurs ou dans une touraille.

Il nous semble que la filtration du vin reste la solution la meilleure dans le cas où l'on emploie du maïs saccharifié soit comme levain, soit comme adjuvant de la fermentation. Ce procédé tend à disparaître à cause de la chèreté relative du maïs, mais il a été très employé jusque dans ces dernières années ; la matière azotée du grain, qui est très favorable à la nutrition de la levure, permet de faire des économies notables sur l'achat de la levure pressée.

La filtration des vins de mélasse exige une assez forte pression aux filtres-presses, et l'on ne peut prétendre à faire des gâteaux durs ; il faut employer des filtres-presses à lavage pour diminuer la perte de vin et d'alcool qui pourrait en résulter. Préférer les toiles en coton.

Au lieu du dénitrage à l'acide sulfurique, Neale avait proposé l'emploi d'acides organiques fixes, et surtout de l'acide tartrique, à dose simplement suffisante pour saturer les moûts jusqu'à donner une très légère acidité au tournesol. Ce procédé peut réussir, à condition que l'on ait à travailler des mélasses non nitreuses d'une part, et que d'autre part on puisse fermenter avec des levures assez pures pour que l'acidité n'augmente pas sensiblement dans le cours de la fermentation ; sinon, bioxyde d'azote et acides volatils reparaissent en première ligne.

Après avoir indiqué le procédé de Neale, Mærcker (1) ajoute :

« On arrive au même but d'une manière encore plus simple et plus certaine en ajoutant un excès d'acide, comme on le fait habituellement, et en saturant cet excès d'acide avec de la craie. Ce moyen est excellent pour éviter les fermentations difficiles. »

(1) *Traité de la Fabrication de l'Alcool*, par le Dr Maercker, édition française, t. II, p. 293.



Nous ne pouvons partager cette opinion du professeur allemand. Pourquoi rajouter cet excès d'acide que l'on sature ensuite ? En vertu des lois de Berthollet l'acide sulfurique sera le premier à s'emparer des alcalis ou de la chaux employés à la saturation, et la faible acidité restante sera due aux acides gras ; il aurait été plus simple d'ajouter du premier coup la dose d'acide sulfurique strictement nécessaire, car l'excès ne peut que diminuer la valeur des salins. Ce procédé comme le précédent, ne saurait d'ailleurs donner de bonnes fermentations qu'avec des mélasses très saines, et pour travailler à coup sûr nous lui préférons le dénitrage que nous avons indiqué précédemment.

Pour en terminer avec cette question, il nous reste à déterminer la quantité d'acide sulfurique nécessaire à cette opération.

(180) *Quantité d'acide nécessaire au dénitrage et à la fermentation. — Analyse des mélasses.*

Comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, les mélasses n'ayant pas toutes la même composition, la quantité d'acide nécessaire variera pour chacune d'elles ; mais en pratique les variations sont assez faibles, et l'on ajoute par 100 kilogrammes de mélasses de 1 kil, 5 à 2 kilogrammes d'acide du commerce à 58° B., soit de 1 kil., 1 à 1 kil., 5 d'acide SO^4H^2, ce qui, à la dilution de 25 kilogrammes de mélasse par hectolitre de moût, devrait donner par litre de ce dernier une acidité variant de 2 gr. 75 à 3 gr. 75 ; mais à cause de l'alcalinité des mélasses, l'acidité réelle reste comprise entre 2 gr., 2 et 3 gr., 15 avant dénitrage, et de 2 à 2 gr. 8 après cette opération.

Comme pour les salins il est avantageux de mettre le moins possible d'acide sulfurique, juste la quantité nécessaire à assurer la fermentation complète, au lieu de procéder par tâtonnements comme on le fait d'ordinaire, nous préférons déterminer le minimum d'acide par un essai préliminaire au laboratoire chaque fois que nous avons une nouvelle mélasse à travailler. Cet essai est la première partie de l'analyse complète d'une mélasse par fermentation, analyse que nous allons exposer en entier :

1°. — On pèse 100 grammes de mélasse on les dilue dans l'eau chaude et l'on en détermine l'alcalinité par la liqueur à 10 grammes d'acide $SO^4 H^2$ par litre. Soit 0,2 l'alcalinité trouvée.

2°. — On prend 200 grammes de mélasse que l'on additionne à 250 c. c. d'eau chaude environ, et de 30 c. c. de liqueur sulfurique à 100 grammes par litre, soit 3 grammes d'acide $SO^4 H^2$, ou 1 gr., 5 par 100 grammes de mélasse, et l'on fait bouillir pendant un quart d'heure environ, en faisant barboter de l'air dans le liquide; on s'assure par un papier de tournesol humide que les vapeurs qui se dégagent ne sont plus acides avant d'arrêter l'ébullition. On fait alors refroidir, puis on verse le tout dans un matras jaugé et l'on complète le volume à 500 c. c.; sur la moitié du liquide (soit 250 c. c., soit 100 grammes de mélasse) on vérifie l'acidité. Soit 0,85 l'acidité restante trouvée :

1,5 d'acide ajouté — 0,2 d'alcalinité = 1,3 acidité avant ébullition. La différence 1,3 — 0,85 = 0 gr. 45 représente la quantité d'acide sulfurique nécessaire à la décomposition des nitrites et à l'expulsion des acides volatils. Une semblable mélasse exige donc pour sa neutralisation et son dénitrage seuls 0,2 + 0,45 = 0 gr., 65 d'acide par 100 grammes, soit 0 kil., 65 par 100 kilogrammes. Si nous voulons que la fermentation commence avec une acidité initiale de 2 gr., 5 par litre de moût, à la dilution de 25 kilogrammes par hectolitre, cela fera 250 gr. d'acide par hectolitre ou $250 \times 4 = 1.000$ grammes par 100 kilogr. de mélasse. La quantité totale d'acide à ajouter à une semblable mélasse sera donc 650 gr. + 1.000 gr. = 1 kil., 650 par 100 kilogrammes.

3°. — L'acidité étant ainsi déterminée, on pèse dans une grande capsule 250 grammes de mélasse, on y ajoute environ 300 c. c. d'eau chaude et $\frac{16,50}{4} = 4$ gr. 125 d'acide sulfurique, ou plus simplement 41 c. c., 25 d'acide dilué à 100 grammes par litre; on porte à l'ébullition ainsi que nous avons indiqué précédemment avec barbotage d'air, et, lorsqu'il ne se dégage plus de vapeurs acides, on verse dans un ballon de 2 litres, que l'on met à refroidir rapidement dans un courant

d'eau froide, en y joignant environ 200 c. c. d'eau chaude qui ont servi à laver la capsule, l'agitateur et l'extrémité du tube barboteur. Lorsque la température est tombée à 25°, on ajoute 12 gr., 5 de bonne levure pressée du commerce délayée dans environ 100 c.c. d'eau dans un verre à pied, et avec les eaux de lavage de ce verre on complete le volume total à 1 litre environ puis on porte à l'étuve de fermentation.

La fermentation et le dosage de l'alcool sont surveillés et opérés ainsi que nous l'avons dit (**78**). La quantité d'alcool ainsi obtenue multipliée par 400 donne le rendement en alcool par 100 kilogrammes de mélasse.

4° — Le résidu, ou vinasse, provenant de l'essai précédent est versé dans un ballon jaugé d'un litre, refroidi, puis avec les eaux de lavage et l'eau nécessaire on complète le volume à la température de 15° jusqu'au trait de jauge. 100 c. c. de cette solution sont prélevés s'il y a lieu pour vérifier la teneur en sucre après fermentation, ou vérifier la différence entre le rendement ainsi obtenu et la richesse en sucre donnée par les méthodes saccharimétriques ordinaires. 100 autres centimètres cubes correspondant à 25 grammes de mélasse, sont ensuite prélevés puis évaporés dans une capsule d'argent (1) tarée, puis l'extrait sec ainsi obtenu incinéré au moufle au rouge cerise naissant. Inutile de chercher à avoir les cendres complètement blanches ce qui serait trop long. La capsule est mise à refroidir sous un exsiccateur puis pesée. Le poids de cendres ainsi obtenu multiplié par 4 donne le rendement approximatif en salin par 100 grammes de mélasse.

Enfin, si l'on veut avoir des renseignements sur la valeur des salins, on évapore puis incinère de même 400 c. c. des vinasses précédentes, correspondant à 100 grammes de mélasse. Le résidu est repris par l'eau chaude, filtré, ramené par les eaux de lavage à 200 c.c. et sur ce liquide filtré on dose les carbonates de potasse et de soude, les chlorure et sulfate de potasse ainsi que nous le verrons pour l'analyse des salins.

---

(1) Les capsules de platine seraient attaquées et percées par les alcalis.



Lorsqu'on opère par levains, il est bon de temps à autre de faire une double analyse de la mélasse par fermentation, l'une exactement comme nous venons de l'indiquer, avec levure pressée, l'autre en remplaçant la levure pressée par un volume de levain correspondant à celui que l'on emploie en travail courant, de façon à contrôler la valeur fermentative de ses levains. Comme le levain ainsi mélangé introduit outre, la levure, une certaine quantité de moût en fermentation, on fait en même temps une fermentation dans un troisième ballon où l'on introduit la même quantité de levain que dans le second, mais où, au lieu de moût de mélasse, on a mis un litre de solution de sucre pur à 100 ou 120 grammes correspondant autant que possible à la richesse saccharine de la mélasse; et pour se rapprocher davantage des conditions de cette dernière; on donne la même acidité réelle, c'est-à-dire dans l'exemple précédent 1 gr.,5 d'acide $SO^4 H^2$, et en opérant l'inversion seulement sur la moitié du sucre.

Si nous supposons que nous ayons introduit dans le ballon 110 grammes de sucre et 200 c.c. de levain, puis qu'après fermentation nous trouvions 78 c. c. d'alcool pur à la distillation, l'apport d'alcool dû au levain sera $78 - 110 \times 0,6 = 12$ c. c. On vérifiera d'ailleurs le coefficient de rendement 0,6 ainsi que nous l'avons indiqué (**78**) et (**79**).

La dose pratique réellement nécessaire pour les meilleurs résultats industriels se reconnaît à un certain nombre de caractéristiques qu'il est bon de rappeler.

En premier lieu, l'on examinera l'augmentation de l'acidité du commencement à la fin de la fermentation. Il ne faut pas que l'acidité s'accroisse de plus de 0 gr, 2 à 0 gr. 3 (comptés en $SO^4 H^2$) par litre.

La fermentation doit être *active*, mais sans l'être trop ; ainsi la durée de la fermentation devra atteindre environ 42 à 48 heures. On a deux moyens à sa disposition pour ralentir la fermentation : modifier la dose initiale d'acide, ou bien abaisser la température. L'acidité et le froid sont tous deux des prophylactiques contre le développement des bactéries, témoin les brasseries où le froid suffit à maintenir la pureté de fermentation. L'industriel doit lutter contre les bactéries jus-

qu'au point où la levure elle-même commencerait à souffrir, ce qui se voit promptement au remous de la cuve, à l'odeur du gaz carbonique, etc.

La disparition presque complète du sucre dans le vin n'est pas un indice suffisant de bonne fermentation, car le sucre peut s'être transformé en aldéhydes, alcools et acides supérieurs, etc.

Le manque d'acide ou l'excès de température donnent aux flegmes une odeur piquante spéciale, rappelant le caoutchouc brûlé ; c'est l'acroléïne, produit très rebelle à la rectification. Il est essentiel d'éviter sa formation.

Enfin, l'acidité devrait être augmentée si l'on constatait que les produits de tête de la rectification fussent alcalins. Dans ce cas, en effet, l'alcool rectifié conserverait une odeur spéciale *de poisson*, comme disent les contre-maîtres.

(181) *Extraction des salins. — Fours à potasse.*

Les salins n'étant que l'extrait sec et calciné des vinasses, leur extraction ne demande que la concentration de ces dernières, et l'on voit que cette opération sera d'autant plus économique que la quantité d'eau à évaporer sera moindre. Aussi devra-t-on toujours avoir une colonne chauffée par serpentin ou caisse tubulaire, et non une colonne chauffée par barbotage ; dans le but de faciliter cette concentration, on avait proposé d'employer les vinasses, provenant d'une première opération, pour diluer la mélasse de l'opération suivante et obtenir ainsi des vinasses deux fois plus riches en salins. Malheureusement, l'excès de sels ainsi introduits gêne les fermentations déjà assez difficiles de la mélasse, et l'on a dû renoncer à cette pratique tentante au premier abord.

Primitivement, la concentration se faisait dans des chaudières à feu nu et à l'air libre, mais la dépense de combustible était considérable, et l'on essaya différents procédés pour réaliser des économies sur ce point. Savalle proposa l'emploi d'un appareil à effets multiples analogue au triple effet des sucreries, mais la destruction rapide de son appareil, construit en fer, le fit

renoncer à cette idée. La première solution pratique fut le four à potasse de Porion, qui est encore à peu près uniquement et universellement employé aujourd'hui.

Rappelons brièvement que ce four se compose essentiellement de deux parties, le carneau de concentration et le four d'incinération, ce dernier divisé lui-même en plusieurs soles chauffées par un nombre variable de foyers suivant l'importance de l'installation. Tous les gaz chauds provenant de l'incinération passent, avant de gagner la cheminée, dans le carneau de concentration, où ils rencontrent la vinasse divisée en fines gouttelettes par des agitateurs à palettes tournant à une vitesse de 200 tours par minute. Lorsque les vinasses sont évaporées sur cette sole jusqu'à 17 ou 20° Baumé, on les fait passer dans la seconde partie du four où elles perdent le reste de leur humidité et où les matières organiques sont détruites par calcination.

Le salin brut incandescent, mais ne dégageant plus de flammes, est ensuite sorti du four et exposé en tas à l'air, où s'achève la combustion des matières organiques carbonées et où s'opère le refroidissement. Le salin brut ainsi obtenu, est mis en barils pour être expédié aux raffineries de potasse.

(182) *Composition et analyse des salins.*

Pendant le refroidissement, le sel a absorbé une certaine quantité d'humidité, et présente à l'analyse une composition analogue à la suivante :

Carbonate de potasse	23	Soluble dans l'eau	74
» de soude	16		
Sulfate de potasse	14		
Chlorure de potassium	21		
Eau	5		5
Charbon, matières organiques et pertes	6	Insoluble	21
Silice, alumine, chaux, etc.	15		
		Total	100

La composition dépend de l'origine des mélasses et des traitements qu'on leur a fait subir ; aussi les chiffres précédents doivent ils être considérés plutôt comme

un type d'analyse commerciale courante que comme une moyenne, et comme exprimant la véritable composition d'un salin.

En réalité, cette composition est beaucoup plus complexe, car il existe dans les salins des sulfures amenées par le soufre du charbon ou par décomposition des sulfates à la calcination, des cyanures provenant de la décomposition des matières azotées, et des phosphates amenés par les mélasses et restant soit dans le soluble, soit précipités par la chaux dans l'insoluble ; il y existe aussi d'autres sels organiques et ammoniacaux plus ou moins définis. Enfin, rien ne dit que le groupement des acides et des bases se fasse exactement suivant le mode indiqué par la méthode commerciale d'analyse, que nous allons résumer brièvement.

On dose l'eau, l'insoluble et les sels solubles dont on contrôle le total par extrait sec. L'insoluble est ensuite calciné au rouge pour en déduire le charbon et les matières organiques que l'on dose par différence. Sur la partie soluble on dose : l'alcalinité totale par les procédés ordinaires d'alcalimétrie ; l'acide sulfurique par précipitation au moyen du chlorure de baryum ; le chlore par le nitrate d'argent (méthode volumétrique avec le chromate de potasse comme indicateur), la potasse par le bichlorure de platine à l'état de chloroplatinate de potasse, ou par le procédé volumétrique de A. Carnot (1) ; la différence entre la potasse totale et la somme du sulfate et du chlorure de potassium est calculée en carbonate de potasse, puis le reste de l'alcalinité en carbonate de soude. Le résultat de cette analyse se libelle ainsi que nous l'avons indiqué plus haut (2), et cette méthode suffit, en somme, aux besoins de la pratique aussi bien qu'aux besoins commerciaux, les salins étant payés par le raffineur de potasse proportionnellement à leur teneur en carbonate de potasse. Il est bon, cependant, de la compléter par des essais sur la teneur en sulfures et sulfites chaque fois que l'on changera la qualité du charbon employé aux

(1) Voir *Agenda du Chimiste*, 1893, p. 385.

(2) Pour tous les détails voir le *Guide pratique du Chimiste de Distillerie*, par E. Guillemin, et l'*Agenda du Chimiste*.

fours, et comme contrôle de l'analyse de ce combustible, qui doit être choisi aussi peu sulfureux que possible.

(**183**) *Dépense de combustible des fours à potasse.*

Nous n'insisterons pas davantage sur les détails bien connus de cette analyse, pour passer aux dépenses de combustibles nécessaires à l'évaporation des salins, dépenses moins bien établies, et sur lesquelles on a, croyons-nous, de sérieuses économies à réaliser pour l'avenir. Nous supposerons une mélasse de betterave ayant la composition moyenne indiquée (**176**) et diluée dans les moûts à raison de 25 kilogrammes par hectolitre, et suivant la coutume, nous rapporterons la dépense à l'hectolitre d'alcool 100° contenu dans les flegmes.

Une semblable mélasse donne environ 27 litres d'alcool par 100 kilogrammes, pour 100 litres d'alcool 100°, il faudra donc :

$$\frac{100 \times 100}{27} = 370 \text{ kilogrammes}$$

de mélasse qui, à la dilution de 25 kilogrammes pour 100 litres, donnent 1.480 litres de moût renfermant :

Sels $\frac{370 \times 11}{100}$ = ...	40k70
Matières organiques $\frac{370 \times 25}{100}$ = ...	92,50
Acide sulfurique ajouté $\frac{370 \times 1,255}{100}$ = .	4,625
Total des matières solides . .	137k825

Nous ne tenons pas compte ici du sucre qui s'est transformé en 100 litres d'alcool, et qui, si nous supposons une colonne à haut degré donnant le flegme à 90°, a emporté 10 % d'eau, soit 110 litres au total. Il reste donc dans les vinasses :

$$1480 - (110 + 137,825) = 1232^{k},175$$

d'eau à évaporer au minimum ; car, si nous ne tenons pas compte de la diminution de volume due à l'acide

carbonique, nous comptons les matières solides comme occupant le même volume que l'eau, ce qui se compense à peu près. Et nous pouvons admettre très approximativement que, par hectolitre d'alcool 100°, nous aurons à évaporer 1.230 kilogrammes d'eau.

Or, d'après les expériences les plus favorables (1), on évapore dans les fours Porion environ 20 kilogrammes d'eau par kilogramme de houille brûlée sur les grilles, et sans tenir compte de la vapeur dépensée au moteur actionnant les agitateurs. Néanmoins, négligeons aussi cette dernière dépense, nous voyons que nous devrons dépenser pour l'évaporation des salins correspondant à 1 hectolitre d'alcool : 1.230 : 20 = 61 k, 5 de houille.

D'après les expériences de Peclet, la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer 1 kilogramme d'eau dans ces conditions serait de 660 calories, l'air extérieur étant à 15°, ce qui, dans le cas présent, représenterait :

$$1230 \times 660 = 811.800 \text{ cal. ou } \frac{811.800}{8.000} = 101^{k}45 \text{ de houille}$$

en supposant à celle-ci une puissance calorifique pratique de 8.000 calories par kilogramme ; le chiffre de 61 k, 5 que nous avons vu précédemment, serait donc inférieur à la théorie ? Il n'en est rien, car les 92 k, 5 de matières organiques amenés par les vinasses, ont apporté avec eux une puissance calorifique que nous chiffrerons plus loin.

Suivant une récente communication de M. E. Riffard (2), la consommation moyenne de houille en distillerie est de 50 kilogrammes par 100 kilogrammes de mélasse dont 33 kilogrammes pour la distillation, et 17 kilogrammes pour la fabrication des salins ; ce qui, dans l'exemple présent, correspondrait à :

$$\frac{370 \times 50}{100} = 185 \text{ kil.}$$

de houille par hectolitre d'alcool, dont 122 kilogrammes pour la distillerie proprement dite, et 62 k, 9 pour la potasserie. Ce dernier chiffre, on le voit, se rapproche de celui que nous avons trouvé plus haut.

(1) Ser. — *Traité de Physique industrielle*, t. II, p. 371.
(2) *L'Alcool et le Sucre*, 2e année, nos 8 et 9.

Cette consommation moyenne par hectolitre d'alcool produit, est en somme plutôt inférieure à la réalité, mais elle peut être réduite en forte proportion. La preuve en a été fournie par une distillerie belge, qui évapore ses vinasses à triple effet. M. Aulard y a constaté une dépense totale de 110 kilogrammes de houille par hectolitre d'alcool 90°, soit 122 kilogrammes par hectolitre 100°, distillerie et potasserie comprises ; ces 122 kilogrammes étant appliqués seulement à la dépense de combustible de la distillerie, la potasserie consommant uniquement le calorique fourni par les matières organiques des vinasses, sauf les petites quantités de houille nécessaires à la mise en route de ses appareils.

Sans affirmer que l'on puisse obtenir une aussi faible consommation de charbon dans toutes les usines, nous pouvons montrer qu'il est tout au moins facile de s'en approcher. En nous reportant à ce que nous avons dit des consommations de vapeur des colonnes et du rectificateur, nous voyons, en effet, que la dépense de la distillerie proprement dite par hectolitre d'alcool 100° sera :

Pour la colonne à chauffe-vin et bas degré, théoriquement 165 kg. Pratiquement env.	200 kg. de vapeur
Pour le rectificateur continu	200 » »
Pour la force motrice, le dénitrage, etc. .	130 » »
Total	530 kg. de vapeur

Soit pour une vaporisation de 7 k, 5 aux générateurs par kilogramme de houille :

$$\frac{530}{7,5} = 70 \text{ kil. } 70$$

de charbon par hectolitre d'alcool.

Supposons une distillerie possédant une colonne à distiller à haut degré, comme la colonne à pasteurisation, et un rectificateur continu. La dépense deviendra :

Pour la colonne à chauffe-vin, et haut degré théoriquement 218 kg., 6 ; pratiquement environ	270 kg. de vapeur
Pour le rectificateur continu.	200 » »
Pour la force motrice et le dénitrage . .	130 » »
Total	600 kg. de vapeur

par hectolitre d'alcool, soit pour la houille $\frac{600}{7k5} = 80$ kilogrammes.

Ajoutons 10 kilogrammes pour la lumière électrique ; la force motrice des arbres à palettes du four, la distillation des filtres à charbon de bois et la stérilisation des levains, et nous aurons exactement la dépense constatée à Origny (90 kilogrammes à l'hectolitre), pour l'ensemble du travail de la distillerie sans le four à potasse.

Reste à savoir si l'on peut réellement, par l'évaporation des vinasses à triple effet, arriver à ce que les matières organiques par leur combustion, fournissent le calorique nécessaire à l'évaporation, sans aucun emprunt à la houille.

Ainsi que nous l'avons vu, il nous restait, dans les vinasses, 92 k, 5 de matières organiques apportées par les mélasses par hectolitre d'alcool à 100°.

Nous n'avons aucune donnée expérimentale sur la puissance calorifique de ces matières organiques de composition fort complexes, mais les plus connues d'entre elles étant des sucres non fermentés, du caramel, des acides gras, etc., nous pouvons admettre comme hypothèse voisine de la vérité qu'elles ont en bloc une puissance calorifique analogue à celle du saccharose. Or, d'après les tableaux de thermochimie de M. Berthelot, la molécule de saccharose possède une chaleur de combustion de 1.355 calories, soit par kilogramme :

$$\frac{1.355 \times 1000}{342} = 3.962 \text{ calories.}$$

342 étant le poids moléculaire du saccharose, ce qui nous permet d'assimiler ces matières organiques sèches au bois sec ou ligneux, dont la puissance calorifique est de 3.922 calories. D'après des expériences faites dans les bonnes conditions de la pratique [1], ce dernier combustible permet de vaporiser 4 k, 200 d'eau par kilogramme de ligneux brûlé.

En appliquant le même chiffre aux 92 kilogrammes de matières organiques brûlées sous un bon générateur de vapeur, nous voyons donc que nous pouvons

(1) Cl. de Labarpe, *Notes et Formules de l'Ingénieur et du Constructeur-mécanicien*, pages 372 et 373.



obtenir 4,200 $\times$ 92 = 386 kilogrammes de vapeur, et chaque kilogramme de vapeur utilisé dans un triple effet actuel de sucrerie, peut vaporiser 2 k, 8 d'eau, ainsi que l'a prouvé *M. Dessin*, ce qui, dans le cas présent, nous permettrait l'évaporation de 386 $\times$ 2,8 = = 1.080 kilogrammes d'eau.

Supposons une usine belge travaillant à forte densité, c'est-à-dire à raison de 30 kilogrammes par hectolitre de moût au lieu de 25 kilogrammes, le volume de moût par hectolitre d'alcool tombe à

$$\frac{370 \times 100}{30} = 1,233 \text{ litres.}$$

La colonne à bas degré extrait environ 175 litres de flegme et à la densité moyenne de 2,0 pour le non-sucre, les 137^k,825 de matières solides représentent 137,825 : 2 = 68,9 en chiffre rond 69 litres.

175 + 69 = 244 litres. Donc, eau à évaporer = 1.233 — 244 = 989 litres.

La combustion des matières organiques doit suffire à produire l'évaporation des salins des vinasses.

Pour le cas de la dilution à 25 kilogrammes à l'hectolitre, nous aurions 1480 litres de moût, soit :

1480 — 244 litres = 1236 litres à évaporer.

Or, nous ne pouvons atteindre que 1.080 kilogrammes; déficit :

1236 — 1080 = 156 kilogrammes.

Il faudra ajouter au triple-effet

$$\frac{156}{2,8} = 55 \text{ kil., 7 de vapeur vive,}$$

soit moins de 10 kilogrammes de charbon, exactement :

$$\frac{55,7}{7,5} = 7^k,4$$

Donc, même avec le travail français, à 25 kilogrammes à l'hectolitre, une usine outillée pour faire des alcools extras devrait ne dépenser, travail des salins compris, que 100 kilogrammes de charbon par hectolitre d'alcool, 90 pour la distillerie et 10 pour la potasserie.



Avec les procédés anciens, les industriels sont rares qui ne dépassent pas 160 kilogrammes de charbon à l'hectolitre. On voit quelle économie il est possible de réaliser.

Voici le mode opératoire employé en Belgique :

Les vinasses, aussi chaudes que possible, sont, au sortir de la colonne, envoyées dans un appareil à triple ou quadruple effet, qui les concentre à 20° Baumé environ (16° à chaud); de là elles tombent dans un four à incinérer à deux soles, qui servent à tour de rôle. En tombant sur la première sole, les vinasses, ainsi concentrées, s'enflamment presqu'immédiatement, et ne tardent pas à s'incinérer. A ce moment, la potasse est cuite sur la seconde sole; on la vide, et c'est elle qui reçoit la vinasse concentrée. A droite et à gauche, sont deux foyers; on fait circuler la flamme de telle façon qu'elle passe en premier lieu sur la potasse incandescente; donc, à chaque changement, l'on fait une manœuvre du registre pour intervertir le sens de la flamme. Il serait plus simple de fonctionner à continu, en faisant circuler la masse charbonnée de la première sole sur la seconde, puisque l'on est obligé de ringarder continuellement.

Les odeurs se brûlent en passant sur le deuxième foyer ; de là les gaz se rendent par une gargouille aux générateurs; on ne les fait pas déboucher sur la grille, mais à peu près à mi-parcours des flammes du générateur. Cette chaleur auxiliaire suffit amplement, comme nous venons de le voir, à produire la vapeur dépensée par le triple effet et sa pompe à air.

Telle est, dans ses grandes lignes, l'installation à réaliser. Remarquons que les vinasses, n'étant pas comme le sucre, sujettes à se caraméliser, il n'y a aucun inconvénient à travailler avec pression dans le multiple-effet, ce qui permet, ou d'augmenter la chute de température, ou de diminuer, ou même supprimer les pompes à air, si l'on calcule les caisses pour leur donner une résistance suffisante. Toutes les parties d'un semblable appareil, en contact avec les vinasses, doivent être en cuivre et non en fer, car les vinasses, *même saturées par la chaux*, attaquent le fer; ce dernier phénomène nous semble dû aux acétates, tou-

jours présents dans les vinasses, et qui jouissent de la propriété de se décomposer à l'ébullition, en émettant des vapeurs d'acide acétique, vapeurs qui, mélangées à la vapeur d'eau, attaquent le fer, tandis qu'elles ne sauraient attaquer le cuivre en l'absence de l'oxygène, même à chaud.

M. Vincent a imaginé un système pour utiliser plus complètement les vinasses. Celles-ci, préalablement concentrées, sont introduites dans des cornues, et calcinées ou distillées en vase clos, suivant un mode analogue à la distillation sèche des bois; les produits condensés renferment de l'alcool méthylique, de l'acétone, et surtout des méthylamines qui, par un traitement spécial, sont ensuite transformées en chlorure de méthyle et sulfate d'ammoniaque; les gaz non condensés de la distillation reviennent brûler sous les cornues. Ce procédé, très ingénieux, n'est applicable économiquement que pour les installations très importantes.

(**184**) *Mélasses de cannes. — Rhums et tafias.*

Ce que nous venons de dire des mélasses de betterave s'applique aux mélasses de cannes, sauf ce que nous avons dit des salins qui n'existent pas, ou du moins sont en quantité négligeable. Ces mélasses sont généralement acides. Le mode de travail de fermentation présente certaines particularités, à cause surtout des contrées où il s'accomplit; nous dirons donc quelques mots sur les précautions à prendre dans les pays chauds.

La mélasse de canne est plus facile à fermenter que la mélasse de betterave, et l'on se contente le plus souvent, aux colonies, de préparer le moût en diluant la mélasse à 8 ou 10° Baumé dans une grande cuve préparatoire; de là le moût est envoyé dans les cuves, où la fermentation s'établit spontanément, que l'on procède par fermentation continue, ou même que l'on ne procède à aucun coupage ou introduction de pied de cuve. C'est, on le voit, la fermentation réduite à la plus extrême simplicité.

Si, au commencement d'une campagne, la fermentation spontanée ne se déclare pas, on a recours à divers procédés empiriques : addition de levain de boulanger,

filtration d'une partie du moût sur des bagasses fraîches, addition de chaux, addition d'acide sulfurique (que nous avons entendu qualifier du nom de ferment !), etc. Enfin, après quelques jours de ces essais, la fermentation part, et dure en général pour toute la campagne, les traces de ferment restant dans les tuyaux ou nochères de conduite du moût, et dans les cuves préparatoires, suffisant à l'entretenir.

Aussi les fermentations sont-elles très irrégulières : une cuve tombe en trente heures, alors que sa voisine demande quatre et même six jours, et les rendements varient dans les mêmes proportions. D'ailleurs, la mélasse a si peu de valeur dans ces pays, que l'on n'attache à la distillerie qu'une importance secondaire, et qu'il est rare de voir un planteur s'occuper de l'acidité, des rendements, de l'épuisement par la colonne. Nul souci de la propreté qui, sous ces climats chauds, est encore plus importante que dans les pays du Nord.

y a hlleureusement quelques industriels qui font exception à cette règle générale, et c'est pour eux que nous écrivons les lignes suivantes.

La mélasse de canne, ainsi que nous venons de le voir par cette facilité de fermentation, renferme en elle-même assez de principes nutritifs pour qu'il soit inutile de lui ajouter des matières azotées; elle renferme bien rarement des nitrites, et ne demande pas le dénitrage; elle contient assez de glucose pour qu'il soit inutile d'y provoquer même un commencement d'inversion; elle est en général assez acide pour qu'il n'y ait pas à ajouter d'acides minéraux, et pourtant nous pouvons dire que c'est de cette acidité naturelle que proviennent 90 % des mauvaises fermentations et des mauvais rendements des colonies.

Les mélasses de cannes, ce poinàt de vue, peuvent être rangées en deux classes :

1° Mélasses provenant des sucreries où *les jus sont travaillés acides* pour obtenir du sucre blanc, (colonies françaises) ou pour obtenir les sucres dits Demerari (colonies anglaises).

2° Mélasses provenant des sucreries où *les jus sont travaillés alcalins* pour obtenir des sucres jaunes, (colonies espagnoles et pays vendant leur sucre aux États-Unis).

Les premières sont légèrement acides au sortir des turbines, et, leur acidité augmente peu par la conservation, cette acidité gênant les ferments butyriques et putrides; ce sont celles qui se prêtent le mieux aux procédés de fermentation des colonies, et auxquelles on doit les rhums les plus réputés de la Martinique et de la Jamaïque.

Les secondes au contraire, au sortir des turbines renferment un léger excès de chaux, mais elles ne tardent pas à perdre cette alcalinité. Bien que concentrées à 40° — 42° B, il s'y développe bientôt une fermentation dont nous n'avons pu vérifier le caractère précis, mais suffisante pour faire sauter les bondes et même écarter les douves des fûts où on les a logées, et en dégageant des gaz infects. Après cette fermentation, ces mélasses diluées à 10° B. donnent spontanément un moût d'une acidité de 3 grammes et plus par litre, acidité qui tend à augmenter lors de la fermentation et ne tarde pas à l'arrêter, laissant le champ libre à des fermentations acétiques diverses.

Le mieux est donc de traiter ces mélasses par l'acide sulfurique et la chaleur, leur faire subir en somme un véritable *dénitrage*, bien qu'ici ce terme soit impropre puisqu'il s'agit non d'enlever le nitre, mais les acides volatils et d'opérer une stérilisation. Cette opération se fera exactement comme nous l'avons indiqué pour la mélasse de betterave. Outre l'expulsion des acides on est ainsi débarrassé de nombreux microbes parmi lesquels nous avons reconnu plusieurs fois le *bacillus amylobacter* et le *bacterium termo* (bacille de la fermentation putride).

Mais l'acide sulfurique est souvent hors de prix aux colonies, et souvent aussi l'eau de refroidissement fait défaut. On peut réduire beaucoup la quantité d'eau nécessaire par le dénitrage continu que nous avons indiqué, et rendre cette opération possible dans la plupart des cas. On y procédera alors sans acide sulfurique et en forçant le barbotage d'air. Cette opération terminée, ou, si l'on n'a pu la faire, avant de mettre en fermentation, on vérifie l'acidité du moût et l'on y ajoute une quantité de lait de chaux suffisante pour ramener acil'dité à 1,5 grammes par litre environ.

On vérifie encore l'acidité et la température pendant la fermentation, et si l'acidité tend à dépasser 2 grammes par litre et la température 30° à 32°, on sature avec de la craie et l'on refroidit la cuve. Mais avec le chauffage préalable, avec ou sans acide sulfurique on a bien rarement ce dernier accident.

Les moûts ainsi stérilisés entrent plus difficilement en fermentation spontanée, il faut donc leur préparer un pied de cuve au début de la campagne.

Pour cela une certaine quantité de mélasse fraîche est diluée à l'état de moût et stérilisée ; on s'assure que l'acidité est négligeable, puis on ajoute une quantité d'acide tartrique suffisante pour donner une acidité correspondant à 2 grammes d'acide sulfurique par litre ; on refroidit, puis on fait filtrer le liquide ainsi obtenu sur une couche de bagasse fraîche sortant du moulin à cannes. Par cette opération cette partie de moût s'est aérée et s'est chargée des ferments naturels existant sur la canne, bons et mauvais ; mais, grâce à l'acidité tartrique, les ferments lactiques, butyriques et acétiques ne peuvent se développer tandis que la levure se trouve au contraire dans les meilleures conditions de développement.

Ce procédé nous a toujours donné de bons résultats, Le point important pour sa réussite est qu'il ne puisse rester dans le moût d'acide acétique libre ou combiné avec la chaux, car par l'addition d'acide tartrique il serait remis en liberté. On s'assurera donc par un dosage préalable que la mélasse ne renferme pas trop de chaux en dissolution, et si cela était, on précipiterait cette chaux au dénitrage par l'acide phosphorique, ou plus exactement par addition d'une quantité correspondante de superphosphate.

Après 24 à 30 heures, un semblable pied de cuve est en pleine fermentation, et l'on peut y commencer le coulage, puis suivre par fermentation continue comme nous l'avons indiqué pour les jus de betteraves.

Dans ces conditions, et en ayant soin de refroidir les moûts à 25° au moment du coulage, les cuves tombent en général en 40 ou 45 heures, la température ne dépasse guère 30°. Si la température voulait s'élever plus haut on procèderait à un nettoyage complet de la cuverie, et on repartirait sur un nouveau pied de cuve.

Inutile d'ajouter que si l'on peut procéder par levains ainsi que nous l'avons indiqué (**166**), on est encore bien plus maître des résultats ; mais il faudrait alors partir de levures sélectionnées de cannes, et non pas des levures de vin ou de bière, surtout si l'on veut obtenir du rhum.

La levure de bière, que l'on peut dans certains endroits se procurer assez facilement, donne des rendements aussi bons, sinon supérieurs, comme quantité d'alcool obtenue, mais le goût est modifié, et cette levure ne saurait être recommandée, aux colonies, que pour les distilleries qui cherchent à produire l'alcool neutre. Dans ce dernier cas, tout ce que nous avons dit de la distillation et de la rectification des betteraves s'applique aux mélasses de cannes.

Pour le cas au contraire, où l'on veut obtenir *des tafias* qui, par le vieillissement deviendront *des rhums*, on se conformera à ce que nous avons

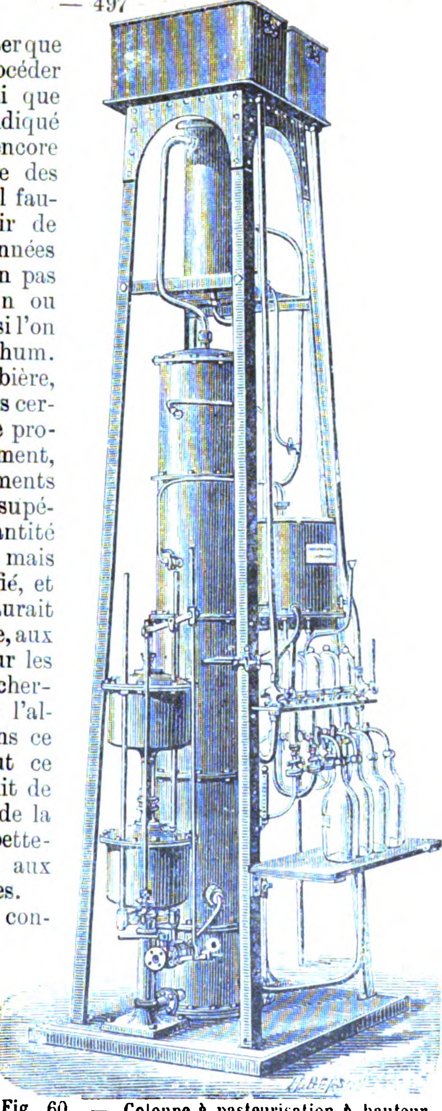


Fig. 60. — Colonne à pasteurisation à hauteur réduite pour rhums et aux-de-vie.

dit (**156**) de la distillation des vins et de la conservation des eaux-de-vie. Ici même, il semble que l'on doive pousser la distillation plus loin en produits d'extra-queue. Il n'y a dans les véritables rhums, introduction d'aucunes herbes ou substances étrangères, l'usage admet seulement l'introduction de caramel comme colorant.

Pour forcer ce goût spécial du rhum on procède à la dilution des mélasses, non avec de l'eau, mais avec les vinasses même ; on veillera donc à l'acidité de ces dernières ainsi que nous l'avons exposé pour les vinasses de betterave et de topinambour.

Primitivement, le rhum était obtenu par la fermentation et la distillation directe du jus de canne, et l'on en trouve encore parfois, quoique rarement dans nos vieilles colonies, sous le nom de *rhum d'habitant* ou d'eau-de-vie de canne. Ce produit, possédant tout le parfum naturel de la canne, est à peu près inconnu dans le commerce, mais nous avons remarqué dans quelques usines des Antilles Françaises une excellente pratique : les flèches de cannes, très riches en glucose, sont soigneusement écartées du moulin de la sucrerie, et portées à un moulin spécial à la distillerie, le jus ainsi obtenu est joint aux moûts de mélasse. Cette pratique est doublement avantageuse, car le glucose mélassigène est écarté de la sucrerie dont le rendement augmente, en même temps que le tafia gagne en qualité et en parfums.

On pourrait augmenter les rendements dans ce dernier cas, en remplaçant le moulin, dont l'extraction est en général assez faible, par la macération ou diffusion analogue à celle des betteraves et permettant de ne laisser dans les bagasses que des traces de sucre ; mais là encore, et comme en sucrerie, la difficulté est d'avoir un bon coupe-cannes, et de disposer d'une quantité d'eau suffisante.

CHAPITRE V

Saccharification des Matières amylacées.

---

(185) *Les matières amylacées. Fécules et amidons.*

Nous avons vu (**86**) la composition des principales matières amylacées dont la matière alcooligène est constituée principalement par l'*amidon* ou *fécule*. Ce dernier nom étant plus habituellement réservé à l'amidon contenu dans les tubercules, les légumineuses et les fruits.

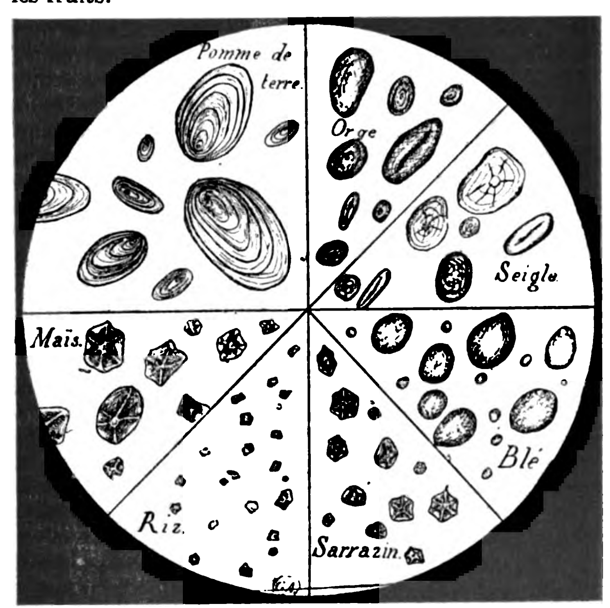


Fig. 61. — Les principaux amidons (Gross. env. 300 diam)

L'amidon, quelque soit la plante dont il provienne, a toujours la même composition chimique représentée par la formule $C^6 H^{10} O^5$, ou plus exactement un multiple de cette formule $n (C^6 H^{10} O^5)$; mais la forme des grains d'amidon et leur volume varie considérablement d'une matière première à l'autre.

La figure 61 représente les amidons des principales substances alcooligènes, vus avec le même grossissement du microscope, où l'on peut les distinguer facilement des substances étrangères par l'adjonction d'une goutte d'eau d'iode, qui jouit de la propriété de les colorer en bleu, alors qu'elle reste sans action ou donne au plus une coloration jaunâtre avec les autres substances.

L'incertitude qui règne sur la formule de l'amidon, ou plutôt sur le mode de groupement moléculaire des nombreux corps répondant à la formule $n (C^6 H^{10} O^5)$. depuis la cellulose insoluble jusqu'à la saccharine soluble de Péligot, s'étend également aux amidons et à la constitution physique des grains de cette substance.

Ainsi, les couches extérieures semblent formées par un ou des corps dont la constitution est très voisine de la cellulose, alors que les couches du centre sont plus facilement attaquées par les réactifs ou les diastases. Mærcker distingue deux variétés *d'amidon cellulose* formant l'enveloppe des grains, et donne le nom de *granulose* à la partie intérieure qui se teint plus franchement en bleu par l'iode. Nous n'osons pas aller aussi loin que le savant allemand, car, ce que nous avons vu (**112**) des différences de température de la formation d'empois et de la saccharification par le malt des divers amidons semblerait indiquer que pour chaque variété il existerait un *amidon cellulose* différent et peut être même une *granulose* différente. Nous retiendrons seulement, au point de vue pratique, que les grains d'amidon sont entourés d'une partie plus résistante formant une sorte de membrane qui a besoin d'être déchirée ou crevée pour que le contenu devienne attaquable. Ce déchirement de la membrane peut être obtenu soit par la cuisson, soit par un broyage mécanique, soit par certaines diastases.

La cuisson surtout est employée, car, outre ce dé-

chirement, une haute température forme des combinaisons de l'eau avec l'amidon, combinaisons connues sous la dénomination générale d'empois, et dans cet état l'amidon est plus facilement transformable par les acides et par le malt.

(**186**) *Saccharification par les acides à l'air libre.*

La saccharification par les acides n'est plus guère employée aujourd'hui en France que pour les grains, et encore tend-on en général à lui substituer la saccharification par le malt qui laisse des résidus d'une plus grande valeur nutritive. Cela est vrai, surtout pour les distilleries agricoles, mais dans quelques cas on peut encore avoir avantage à travailler les grains par les acides et en perdant fort peu de résidus nutritifs.

Ainsi que l'a montré M. Durin, la saccharification des matières amylacées par les acides dépend de trois facteurs : temps, acidité et température, et nous pouvons y ajouter état de division des grains et dilution de la masse.

Dans la saccharification à l'air libre, la température reste toujours voisine de 100°, le grain doit être moulu aussi fin que possible avant d'être introduit dans les cuves de saccharification. Ces cuves sont généralement en bois et doivent être construites dans des conditions toutes spéciales de solidité. Le chauffage y est fait par un barboteur placé près du fond de la cuve et contourné en spirale, muni de quatre rangées de trous de façon à éviter les agglomérations.

Pour chaque hectolitre de capacité des cuves, on y introduit environ : 20 kilogrammes de grains moulus, 2 kilogrammes à 2 k, 2 d'acide chlorhydrique, et le complément en eau, et l'on maintient le barbotage de douze à quinze heures. Cette durée varie suivant la nature du grain et ne peut être déterminée que par expérience directe. En effet, à première vue, il semble que l'on doive pousser l'ébullition jusqu'à ce que tout l'amidon soit converti en glucose, mais malheureusement, cette ébullition prolongée détruit en partie le glucose formé, il faut donc étudier la durée de chauffage qui, dans chaque cas, donnera le meilleur rendement.

Souvent, il est avantageux d'avoir un plus grand nombre de cuves que celui strictement nécessaire. On maintient alors le barbotage pendant le temps minimum nécessaire à la transformation de l'amidon au moins en dextrine; puis on ferme la vapeur et abandonne le moût à lui-même pendant quelques heures, la chaleur qui reste suffit à opérer la transformation de la dextrine en dextrose en présence de l'acide.

Pour s'assurer si la transformation est terminée, on prélève une certaine quantité de moût que l'on étend de son volume d'eau froide, et l'on filtre dans une éprouvette graduée, puis on ajoute au filtrat trois fois son volume d'alcool à 95°. S'il se forme un précipité blanc nuageux, c'est qu'il y a de la dextrine. Ne pas confondre ce précipité avec le louche produit par précipitation des sulfates.

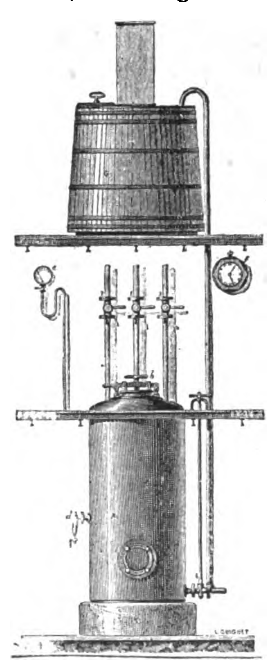
La saccharification ainsi terminée, on sature l'excès d'acide sulfurique par la craie, de façon à laisser seulement une acidité telle qu'après dilution, le moût à fermenter conserve environ 2 gr, 5 d'acidité par litre, comptée en acide sulfurique. On a l'habitude de ramener le moût à une densité de 1.045 et même 1.040 ; pourtant, avec une fermentation bien conduite, et surtout par l'emploi de bons levains, on pourrait fermenter à moûts bien plus épais.

Ce procédé est, on le voit, très simple, mais il présente plusieurs inconvénients : d'abord d'être cher à cause de la grande proportion d'acide et de la dépense de vapeur qu'entraîne cette longue cuisson ; ensuite, de fournir, par filtration des vinasses aux filtres-presses, des résidus qui peuvent difficilement être donnés comme nourriture au bétail à cause des sels de chaux qu'ils contiennent. Même en se servant du carbonate de soude pour la saturation, ce qui engendre du sel marin, il y a peu d'animaux qui consentent à manger ce tourteau là.

(187) *Saccharification par les acides sous pression.*

On obtient une grande économie d'acide et de vapeur par le procédé de saccharification sous pression imaginé par MM. Colani et Kruger.

L'appareil de ces inventeurs, que l'on appelle communément *un Kruger*, se compose d'un autoclave en cuivre rouge A (fig. 62), d'une capacité de 15 hectolitres, et timbré à 5 kilogrammes ; il est muni d'un faux-fond perforé. Pour faire une opération, on y introduit par le robinet *1*, 6 hectolitres d'eau acidulée à raison de 2 k, 5 d'acide chlorhydrique du commerce par hectolitre, et, dès que ce liquide est bien chaud, l'on charge par le trou d'homme *b*, 360 kilogrammes de grain simplement concassé, on ferme ; on ouvre davantage le robinet de vapeur *2* et le robinet purgeur *3*, celui-ci, le temps seulement de bien laisser échapper l'air, et l'on surveille le manomètre.


Fig. 62.
Appareil Colani et Kruger.

Lorsque la pression atteint 2 k., 5 (blé et seigle) ou 3 kilogrammes (maïs), on arrête la vapeur, La pression se maintient d'elle-même, si l'on a bien expulsé l'air, et après 50 minutes environ l'opération est terminée. On ouvre le robinet de vidange *4* et l'appareil formant monte-jus décharge son contenu dans la cuve G munie d'un couvercle à cheminée. Si, pendant ce temps, le manomètre venait à baisser, on rétablirait la pression, car la durée de saccharification ne serait plus exacte.

Chaque opération dure un peu plus d'une heure ; on peut compter 20 opérations par 24 heures, un ouvrier pouvant facilement conduire deux appareils.

Il ne reste plus alors qu'à saturer les excès d'acide par la craie ou le carbonate de soude qui donneront

un chlorure soluble, et envoyer directement à la fermentation. Les moûts ainsi obtenus passeraient mal au filtre-presse, par suite de l'excès d'acidité qu'il faut laisser pour la fermentation.

On peut, par le procédé de M. F. Billet, travailler à moût clair, et même obtenir de la levure de bonne qualité. Ce mode de travail est surtout précieux pour fabriquer les levains nécessaires au travail de la fermentation. Voici comment on opère pour obtenir une belle levure.

On réduit la dose d'acide chlorhydrique à 4 kilogrammes ou 4 k, 1/2 au plus par 100 kilogrammes de grains, et l'on ne maintient la pression au Kruger que pendant vingt minutes environ. On a ainsi un moût assez blond, dont la saccharification n'est pas tout à fait complète.

On sature fortement à la craie, de façon qu'après dilution à 1.040, le jus clair ne conserve que 0 gr, 75 d'acidité, comptée en acide sulfurique par litre. Par un monte-jus, l'on fait filtrer le moût dans un filtre-presse ; la filtration se fait facilement à ce taux d'acidité. Si l'on a un filtre-presse à lavage, on lave les tourteaux dans le filtre même. Sinon, le tour de main le plus simple consiste à délayer les tourteaux dans les moûts troubles pour la fermentation.

Les jus obtenus sont parfaitement limpides. On les refroidit dans un réfrigérant tubulaire, et, de là, ils coulent dans une cuve à levain ; on ajoute de l'eau froide pour descendre la densité entre 1.040 et 1.038. La température ne doit pas dépasser 16° centigrades au plus. On met en levure ; la fermentation ne se déclare que très lentement. Une injection d'air stérilisé favorise la prolification de la levure. Au bout de 42 à 48 heures environ, la température arrive à 19-20°, et la densité est tombée à 1.020. On écoule le liquide dans une cuve, pour former pied de cuve, et, au fond du cuvier l'on récolte une assez grande quantité de levure blonde et active. On la lave à l'eau froide et elle sert à mettre en levure un levain ultérieur.

Il n'est pas nécessaire de faire un pied de cette nature pour chaque cuve. Deux levains par 24 heures

suffisent pour donner de très bons résultats et une grande régularité à la fermentation.

La levure pressée obtenue par ce procédé est belle, mais elle se conserve moins bien que par les procédés au malt.

Travail des Grains par le Malt.

(**188**) *Préparation du malt. — La germination.*

Nous nous occuperons seulement ici des phénomènes qui se passent pendant la germination d'un grain d'orge. L'orge, en effet, est le plus employé des grains pour la fabrication du malt et le plus étudié

La figure 63 nous montre la structure extérieure d'un grain d'orge tel qu'on vient de le détacher de l'épi, et les figures 64, 65 et 66 nous montrent sa structure intérieure, c'est-à-dire les organes qui jouent un rôle dans la préparation du malt.

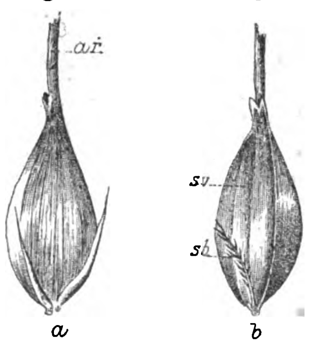


Fig. 63. — Grain d'orge.
a, face dorsale. — *b*, face ventrale. — *s.v*, sillon ventral. — *s.b*, soie basilaire. — *ar*, arête.

Le grain est formé de deux parties essentielles : l'*embryon*, qui forme la plante rudimentaire, et l'*albumen*, ou réserve de nourriture qui fournira à la jeune plante les éléments nécessaires à la confection de ses tissus. Cet albumen, qui forme la plus grosse partie du grain est composé de cellules polyédriques renfermant l'amidon qui, ainsi que nous l'avons vu (**111**) est à ce moment inassimilable, et, en outre, est entouré d'une couche de cellules renfermant des grains d'*aleurone*.

L'embryon plus spécialement représenté figure 66 ne représente guère que la trentième partie du grain. Le *scutellum* est formé de plusieurs couches dont une, en contact directe avec l'albumen, est constituée par des cellules disposées en palissade et perpendiculairement au scutellum auquel elles sont fortement unies, tandis que de l'autre côté elles adhèrent faiblement à l'albumen. Cette couche sert à l'absorption des matières nutritives renfermées dans l'albumen qu'elle transporte vers l'embryon.

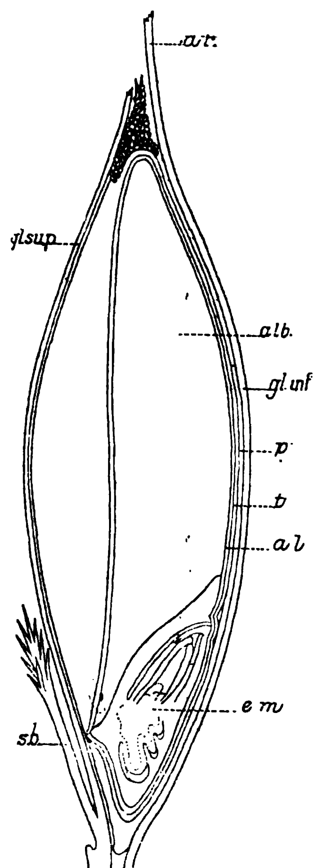


Fig. 64. — Diagramme d'une section longitudinale d'un grain d'orge.

ar, arête. — ***gl. sup***, glumelle supérieure. — ***gl. inf***, glumelle inférieure. — ***p***, péricarpe. — ***t***, testa. — ***al***, couche à grains d'aleurone. — ***alb***, albumen. — ***em***, embryon. — ***s.b***, soie basilaire.

La différence des adhérences permet de détacher facilement l'embryon de l'albumen, soit après le trempage, soit pendant la germination, et, en opérant ainsi avec habileté, on peut y substituer un germe provenant d'une autre graine. Cette expérience, due à MM. Brown et Morris, leur a permis de dire que les relations de l'embryon et de l'albumen sont celles d'un parasite et de son hôte.

Avant la germination, les cellules de cet

épithélium columnaire ont un contenu fin et granuleux dont le noyau est bien visible au microscope ; pendant la germination, ce contenu devient plus sombre et le noyau invisible. Sous cet épithélium, les cellules du scutellum sont polyédriques, et renferment des granules d'aleurone et des globules de matières grasses en suspension dans le protolasma ; entre les membranes de ces cellules il reste des vides très visibles.

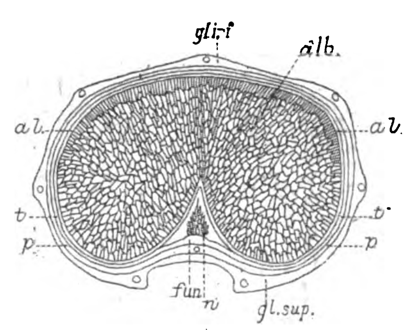


Fig. 65. — Coupe transversale d'un grain d'orge.

n, reste du nucelle. — *fun*, reste du funicule, les autres lettres comme figures 64 et 66.

Dans la portion de l'albumen, la plus proche de l'épithélium columnaire est une couche de cellules vides et aplaties ; ces cellules, d'abord remplies d'amidon comme les autres, se sont vidées pendant la dernière période de croissance du grain pour fournir la substance nécessaire au premier développement de l'embryon.

L'albumen et l'embryon sont réunis par une série d'enveloppes qui sont le *péricarpe*, le *testa et les glumelles*. Ces derniers séparés du grain, prennent le nom de *balles*.

Cette description très sommaire, faite, voyons les phénomènes qui se passeront pendant la germination, phénomènes surtout étudiés par MM. Brown et Morris (1).

(1) Brown et Morris. — A *Text-Book of the Science of Brewing*, 1891.

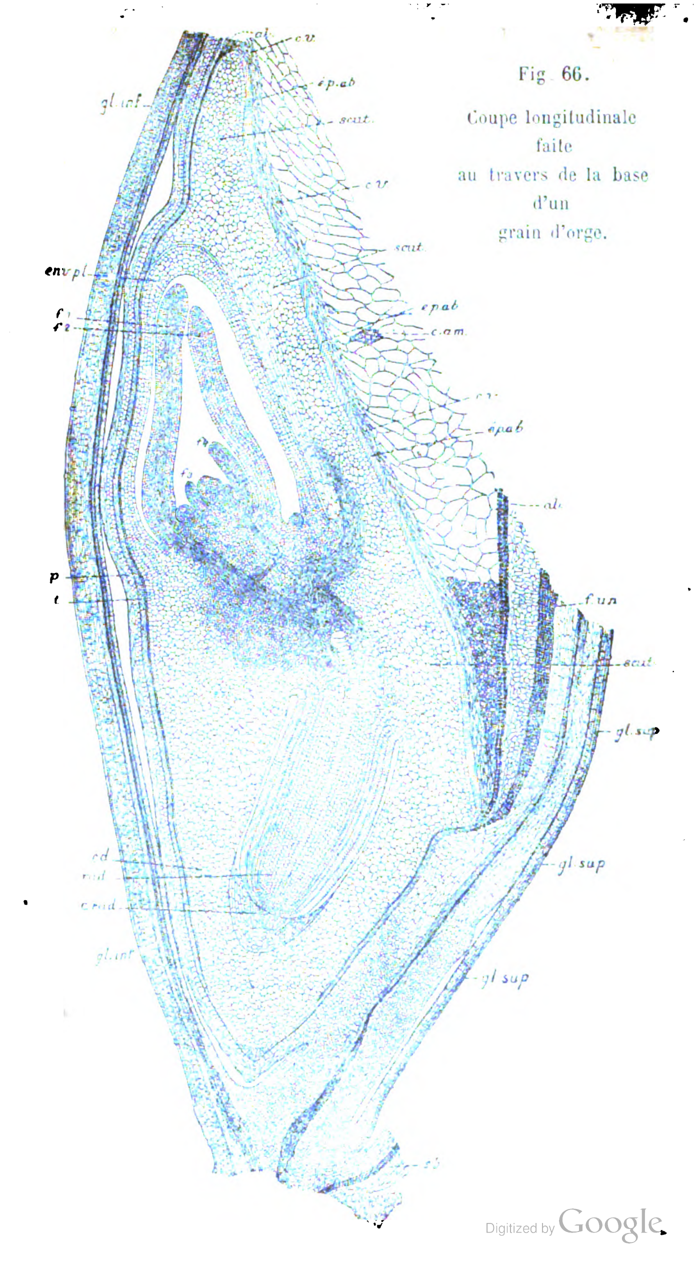


Fig. 66.

Coupe longitudinale faite au travers de la base d'un grain d'orge.

Légende de la figure 66 ci-contre :

Embryon : ***scut***, scutellum, — ***ep.ab***, épithelium absorbant du scutellum. — f_1, f_2, f_3, f_4, plumule. — ***rad***, radicule. — ***c.rad***, coiffe de la radicule. — ***cd***, enveloppe de la radicule. — ***c.am***, cellules à amidon de l'albumen. — ***c.v***, cellules vides et aplaties de l'albumen. — ***al***, cellules à aleurone. — ***t***, testa. — ***p***, péricarpe. — ***gl.inf***, glumelle inférieure. — ***gl.sup***, glumelle supérieure. — ***sb***, soie basilaire. — ***fun***, funicule.

Au début de la germination, les cellules en palissade de l'épithélium du scutellum s'allongent en forme de doigts de gants et pénètrent dans l'albumen. En même temps, ces cellules sécrètent une diastase spéciale, nommé *cytase* par M. Duclaux, et qui jouit de la propriété de dissoudre la cellulose. Ainsi, 24 à 36 heures après le commencement de la germination, on aperçoit un commencement de dissolution des cellules vides de l'albumen, et, à ce même moment, on peut observer dans le scutellum une transformation transitoire d'amidon due aux produits de digestion de la cellulose ; la radicule, ou racine primaire, sort en même temps de son enveloppe.

L'action dissolvante se poursuit encore et vient attaquer les membranes des cellules à amidon, et alors le grain perd sa dureté, peut être écrasé entre les doigts. Cette mollesse du grain, que l'on développe pendant le maltage, correspond donc à la dissolution des enveloppes cellulosiques des grains d'amidon, et non pas à la destruction de l'amidon lui-même comme on l'avait cru tout d'abord.

La digestion cellulaire s'avance depuis l'épithélium vers le sommet du grain, mais moins du côté de la face dorsale. L'explication de cette différence est que les cellules à amidon de la face dorsale sont les dernières formées dans la croissance du grain, et que plus jeunes, elles sont plus facilement attaquées par la *cytase*. Ces différences de résistance nous prouvent l'existence de plusieurs *celluloses*, et par suite expliquent les différences de résistance au maltage que présentent les diverses variétés d'orge.

Pour prouver l'existence et l'action de cette *cytase*, MM. Brown et Morris, en opérant comme nous l'avons dit précédemment, ont détaché les embryons de quelques graines, puis les ont remis en place, les uns avec leur *épithélium*, les autres après avoir enlevé avec soin les cellules en palissade, c'est-à-dire *sans épithélium*.

Ces savants ont même été plus loin, à l'albumen du grain ils ont substitué des tranches de pommes de terre.

Dans ces divers essais, tous les embryons *avec épithélium* ont continué leur croissance soit dans l'albumen, comme s'ils n'avaient pas été déplacés, soit sur la pomme de terre dont ils dissolvaient la cellulose en y faisant un trou. Au contraire, les embryons sans épithélium laissaient intacts albumen et pomme de terre.

Peu après le commencement de cette action de la cytase sur la cellulose, apparaît la sécrétion de l'*amylase*, et l'on peut voir les grains d'amidon se creuser, se disloquer, puis disparaître. Cette secrétion de l'amylase est due également aux cellules de l'épithélium de l'embryon. On peut le prouver encore par la méthode d'enlèvement des embryons que nous avons signalée plus haut, mais on remplace les tranches de pommes de terre par une gelée de gélatine stérilisée dans laquelle on a mis en suspension de l'amidon ou de la fécule, les *embryons avec épithélium* sécrètent l'amylase qui va dissoudre l'amidon dans leur voisinage.

En même temps, l'embryon absorbe l'amidon ainsi dissout, mais n'en utilise qu'une partie pour l'édification de ses tissus, en faisant disparaître la plus grande part à l'état d'acide carbonique et d'eau, comme dans tous les phénomènes de nutrition des êtres vivants. Il faut donc, pour que cette réaction puisse se produire, qu'un excès d'oxygène soit apporté de l'extérieur afin de permettre cette combustion. L'oxygène doit être amené par une aération constante, qui doit en même temps faire disparaître l'acide carbonique dégagé.

Enfin, pour que ce phénomène biologique s'accomplisse, le grain doit se trouver dans les conditions physiologiques nécessaires de température et d'humidité. Pour l'orge cette température est comprise en 15° et

25°, mais ne doit jamais atteindre 28°, température à laquelle la germination s'arrête ; or, ici encore, et à cause de la combustion produite, la température tend à s'élever si l'on n'apporte pas des causes de refroidissement, élévation de température qui tend à volatiliser de l'eau et à diminuer l'humidité du grain.

Enfin, pendant le même temps que s'accomplissent ces divers phénomènes, les matières azotées du grain d'orge sont elles aussi assimilées par l'embryon. Nous sommes moins exactement fixés sur ce point que sur l'absorption et la transformation de l'amidon ; mais, par analogie avec les absorptions similaires étudiées sur d'autres plantes ou animaux, il n'est pas téméraire de penser que cette absorption des matières azotées se fait sous l'influence de diastases du groupe des pepsines. Ces diastases s'attaquent à l'aleurone d'abord, puis aux matières grasses, et enfin à l'amylase qui, après un certain temps, cesse d'être secrétée par l'épithélium, lorsque la quantité produite est suffisante et au-delà pour transformer tout l'amidon de l'albumen.

L'excès d'amylase sur la quantité strictement nécessaire à transformer l'amidon est donc, on le voit, indispensable au grain puisque cette amylase elle-même est ensuite transformée et absorbée par la jeune plante. On peut s'en assurer en laissant la germination suivre son cours ; après un certain temps, la proportion d'amylase diminue, puis disparaît complètement.

Le moment où cette proportion d'amylase est le plus considérable, correspond à ce que l'on appelle la *maturité du malt*. C'est à ce point qu'il convient d'arrêter la germination du grain, soit en l'employant de suite : procédé du *malt vert*, soit en privant le grain de son humidité : procédé du *malt sec*. La dessiccation du malt peut être obtenue soit par l'emploi d'un courant d'air sec, agissant comme absorbant de l'humidité, soit par la chaleur, qui arrête d'abord la germination au delà de 28°, puis évapore ensuite l'excès d'eau.

On n'a pas encore fixé, au point de vue scientifique, le moment exact de maturité du malt ; mais, en pratique, on a reconnu que ce point est atteint lorsque les radicelles ont acquis une fois et demie la longueur du

grain, et que le germe a les trois quarts de la longueur de ce même grain. Ces longueurs peuvent même être un peu plus fortes, mais jamais le germe ne doit sortir du grain, car alors la proportion d'amylase diminue rapidement, ou, pour employer le langage courant : *la diastase rétrograde.*

(189) *Généralités sur le maltage.*

Ces principes posés, nous comprendrons facilement les différentes opérations du maltage qui sont :

La trempe, *la germination* et *le séchage* ou *le touraillage.*

Avant de décrire ces opérations, voyons quelles doivent être les qualités d'une orge destinée au maltage.

Les orges à peau fine, et absorbant ainsi plus facilement et plus régulièrement l'humidité, devront être préférées ; ce que nous avons vu des différentes celluloses, et des temps différents nécessaires à leur digestion par la cytase, nous montre que pour une même opération, on doit employer des orges de même provenance, c'est-à-dire renfermant les mêmes celluloses ; enfin, pour la régularité de l'opération, il est bon que les grains mis ensemble en travail soient de même dimension pour se travailler dans le même temps. Inutile d'ajouter que ces orges devront être aussi saines que possible, pour ne pas apporter avec elles des ferments secondaires et des moisissures ; les grains brisés ou rongés devront tout particulièrement être écartés.

Les opérations de maltage proprement dites devront donc être précédées d'un nettoyage soigné des grains, et d'un bon triage, par l'emploi d'appareils perfectionnés.

(190) *La trempe.*

Cette opération a pour but de fournir à l'orge l'humidité nécessaire, et, comme son nom l'indique, consiste à laisser tremper l'orge dans l'eau jusqu'à ce qu'elle en ait absorbé une quantité suffisante pour sa germination. Ce point se reconnaît en cassant un grain d'orge en deux, il ne doit plus rester au milieu qu'une petite tache blanche sèche de la grosseur d'une aiguille.

La durée de cette opération varie, suivant la nature de l'orge et suivant la température, de 36 heures en été à 4 jours et plus parfois en hiver. Il serait facile de remédier à ces retards, en distillerie, en réchauffant l'eau de trempage avec un peu d'eau chaude provenant des condenseurs ou réfrigérants, de façon à ramener la durée de la trempe à 48 heures environ.

La cuve de trempe est le plus souvent une simple cuve en maçonnerie rectangulaire, munie au fond d'un robinet de vidange pour l'eau. Cette disposition est insuffisante.

Nous avons vu, en effet, qu'il est de la plus haute importance, pour éviter les faux ferments, d'avoir une orge bien nettoyée; il est donc plus rationnel d'utiliser l'opération de la trempe pour aider au lavage de l'orge. Pour cela, on disposera une cuve cylindro-conique, dont l'axe est occupé par un cylindre perforé mobile; les trous sont assez fins pour retenir l'orge.

L'eau entre par le cylindre perforé, traverse le grain, enlève les grains légers et la poussière, et va se déverser à la partie supérieure par un tuyau de trop-plein garni d'une crépine à trous de même dimension.

Lorsque la trempe est terminée, on vide l'eau par le bas, puis on ouvre la porte inférieure de la cuve. Si, à ce moment, l'on soulève le cylindre perforé, le grain trempé tombe sur le sol de la malterie, où on l'étale.

Pendant la trempe, on écume soigneusement les grains légers, et quelques matières étrangères légères échappées aux trieurs.

Le renouvellement de l'eau de trempage a pour but, outre le nettoyage de l'orge, de redonner à ce dernier une eau chargée d'air, ce qui est indispensable pour le gonflement, qui est le commencement de la germination; l'on peut même répéter cette opération trois fois pendant la durée de la trempe, si l'eau ne fait pas défaut.

L'eau de trempe enlève aux grains une certaine quantité de matières solubles, organiques et minérales, correspondant à environ 0,01 du poids du grain. Cette perte est à peu près inévitable, mais semble être réduite par l'emploi d'eau dure pour la trempe. Nous n'attachons du reste qu'une importance fort secondaire à ce degré hydrotimétrique des eaux.

Le point, au contraire, sur lequel nous insisterons tout particulièrement, est de *faire ce trempage avec une eau dépourvue de tous ferments putrides et germes de moisissures*. Si donc l'eau renfermait de ces impuretés, la quantité d'eau, celle au moins nécessaire pour la malterie, devrait être purifiée par addition d'une solution de sulfate d'alumine et de chaux, ainsi que nous l'avons indiqué (**62**). La présence de sels de fer dans l'eau, semblant nuisible à la germination, ne pas employer le sulfate de fer dans ce cas, et s'assurer au contraire que l'eau ne renferme pas naturellement de sels de ce métal.

(**191**) *La germination ou maltage.*

Au sortir de la trempe, l'orge est étendue sur le sol du germoir et étalée en couches égalisées de 30 centimètres d'épaisseur, dans lesquelles on a soin de placer un thermomètre. La température ne tarde pas à monter, et, pour la maintenir, il faut fréquemment retourner les tas à la pelle, tant pour répartir cette chaleur de façon uniforme, que pour mettre les grains au contact de l'air.

Pour faciliter cette régularité de température indispensable, le germoir est en général installé dans les caves; aussi, pour permettre l'enlèvement de l'acide carbonique, faut-il assurer la ventilation par des prises d'air au ras du sol. Quelques cheminées en tôle servent à établir un tirage que l'on règle par des clefs à papillon.

Le sol des germoirs est construit ordinairement en asphalte ou en ciment; on doit surtout éviter les matières poreuses qui, se nettoyant mal, se transforment en véritables nids de moisissures. Pour assurer mieux encore la ventilation et l'écoulement de l'acide carbonique, il serait préférable et très facile de faire un plancher en tôles perforées sous lequel viendraient prendre les tuyaux de ventilation; c'est le principe du système de maltage pneumatique de Saladin.

Dès que les radicelles apparaissent, on diminue l'épaisseur des tas progressivement, pour diminuer l'échauffement et augmenter la surface d'air, et l'on

observe toujours les thermomètres, en ayant soin de pelleter dès que la température tend à s'élever. Pratiquement, il faut rester entre 15 et 18° C.; on reste ainsi à l'abri des bacilles et des moisissures qui ne se développent qu'à température plus élevée. A partir de l'apparition des radicelles, il faut pelleter avec soin pour éviter de les briser, et avec d'autant plus de soin qu'elles deviennent plus longues et plus fragiles, surtout à partir du moment où leur enchevêtrement produit *le feutrage* du malt. C'est du tour de main de l'ouvrier chargé de cette opération, que dépend en partie le rendement, ainsi que des soins de méticuleuse propreté.

Nous n'insisterons pas sur les détails de construction du germoir devant satisfaire à cette dernière exigence. Pour se rapprocher des conditions de la germination dans le sol, on a voulu construire des germoirs très obscurs; cela n'est pas indispensable, et devient gênant : une légère lumière diffuse suffit, mais il faut avoir soin d'éviter les rayons solaires directs.

Pour les dimensions du germoir, on les calculera en comptant qu'à la fin de la germination les tas n'ont plus qu'une épaisseur de 5 centimètres, qu'il faut ajouter à la surface ainsi calculée de 25 à 30 % pour les passages entre les tas, qu'un hectolitre d'orge pèse en moyenne 64 kilogrammes, et que, par le feutrage, il produit un volume de 225 litres de malt vert. Quant à la quantité de malt vert à produire, elle dépend essentiellement du travail que l'on a en vue.

Maerker, d'après Steinglein, admet, pour base de ce calcul, qu'il faut compter 4 kil. 5 de malt vert par hectolitre de moût. Une pareille base peut être admise en Allemagne où, par suite du mode de perception de l'impôt sur la capacité des cuves, tous les moûts, de pommes de terre ou de grains, sont travaillés à une concentration sensiblement uniforme. Nous ne reproduisons donc pas ici les tables de Steinglein, relatives aux dimensions des malteries, qui n'ont guère d'application en dehors de l'Allemagne; en France, elles ne seraient applicables qu'à la distillation des pommes de terre, et, dans ce cas, on fera rapidement le calcul à l'aide des bases que nous avons indiquées.

Un autre facteur important, dans le calcul de ces surfaces, est la durée de la germination. Dans les limimites de température de 15 à 18°, cette durée est d'environ quatre fois vingt-quatre heures; elle peut varier, et suivant la nature de l'orge, et suivant la facilité avec laquelle on peut maintenir cette température. Dans les petites installations ordinaires des distilleries,

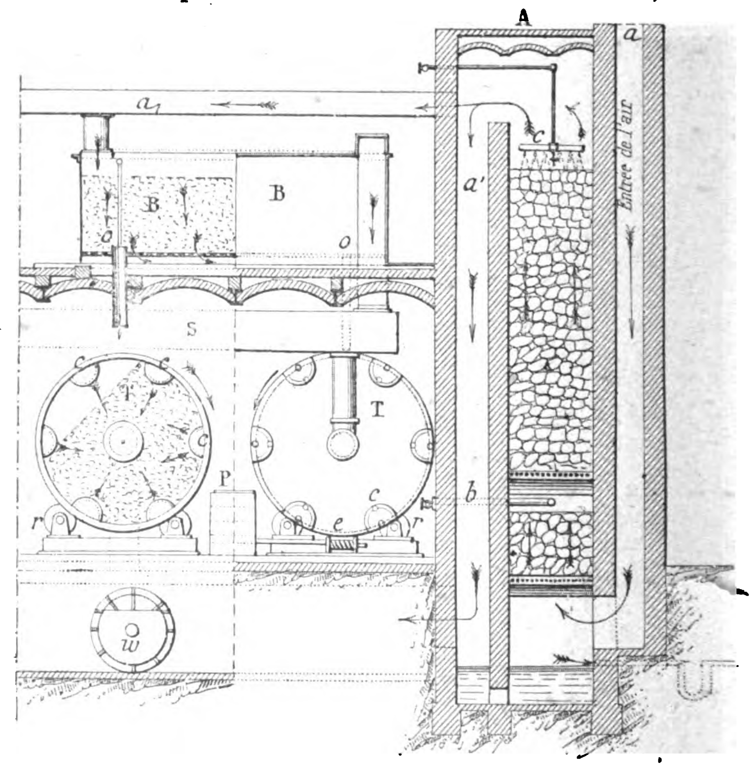


Fig. 67. — Coupe transversale, perpendiculaire à l'axe des tambours de germination (système Galland).

elle peut atteindre huit jours par les temps froids de l'hiver, et se réduire à deux jours dans les temps chauds de l'été; mais il ne faut pas atteindre cette dernière

limite, car alors le malt est en général de qualité inférieure.

Il vaut mieux alors : ou abandonner le maltage de l'orge, et le remplacer par le maltage du maïs qui germe à la température de 28°, et est le seul maltage possible dans les pays chauds; ou bien malter pendant la saison froide, touriller le malt et le magasiner pour les besoins de la saison chaude.

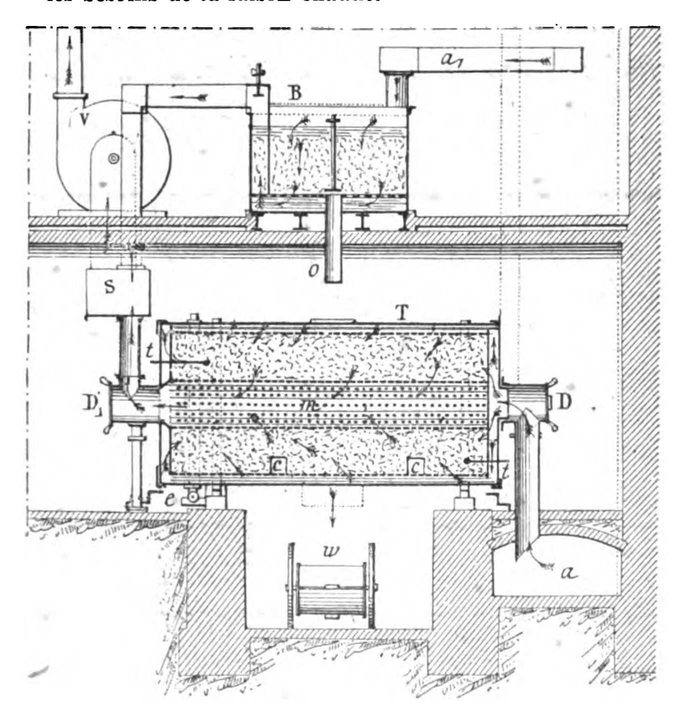
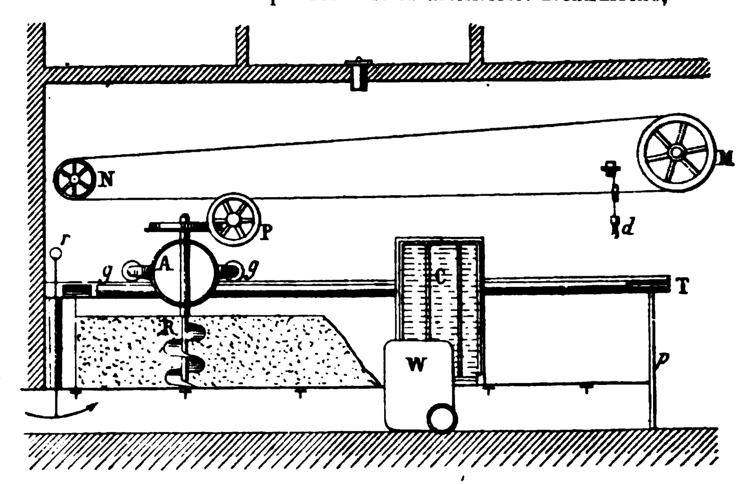


Fig. 68. — Coupe longitudinale par l'axe des tambours de germination (système Galland).

Cette difficulté du maltage pendant l'été a fait imaginer le *maltage pneumatique* ou mécanique, réalisé pour la première fois avec succès par M. Galland. Malheureusement, les installations appelées à résoudre ce problème, sont trop compliquées et trop coûteuses en-

core actuellement pour répondre aux productions restreintes du malt que réclame la distillerie. Néanmoins,



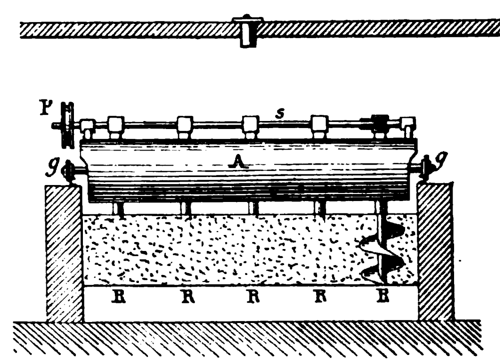
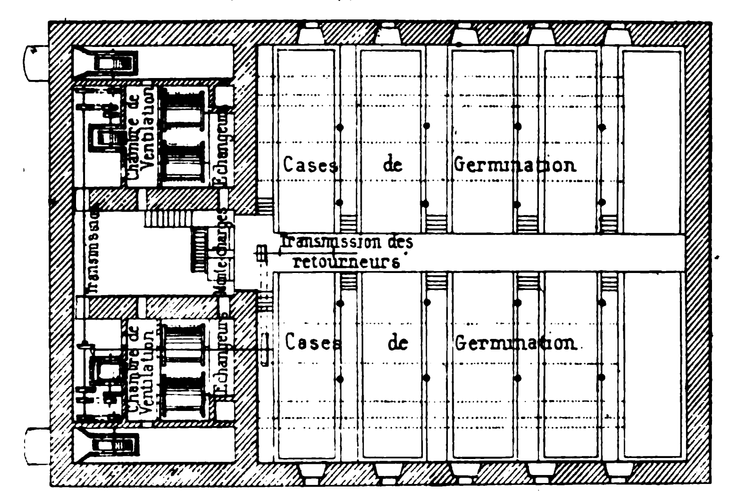


Fig. 69.— Coupes longitudinale et transversale d'une case de germination pneumatique (système Saladin).

les résultats obtenus en malterie et en brasserie sont suffisants pour indiquer que c'est là le procédé de l'avenir.

La place nous manque pour donner les détails complets de ces procédés (¹), et nous nous bornerons à



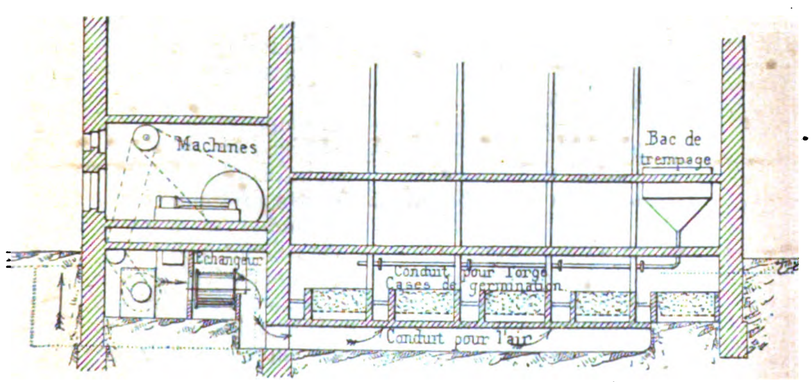


Fig. 70. — Plan et coupe verticale d'une installation pneumatique (système Saladin).

---

(1) Voir à ce sujet dans « *La Bière et les Boissons fermentées* », 1re année (nos 5 et 6). — *Les Progrès récents de la Malterie*, par A. Fernbach.

reproduire les dessins d'installation de deux systèmes qui à l'heure actuelle on fait leurs preuves.

A part les détails de construction forts différents, et fort ingénieux, ces appareils sont fondés sur les deux principes suivants :

1° Mouvement mécanique lent, supprimant le pelletage ;

2° Faire traverser l'orge par un courant d'air saturé d'eau à température convenable.

Dans le système Galland (figures 67 et 68), l'orge trempée est introduite dans des tambours animés d'un mouvement lent de rotation ; l'air aspiré par un ventilateur se charge d'humidité par passage dans une colonne à coke avant de traverser l'orge contenue dans les tambours.

Dans le système Saladin, représenté figures 69 et 70, l'orge est étendue dans des cases munies d'un plancher en tôle perforée. Une hélice animée d'un double mouvement de rotation et de translation renouvelle les surfaces, en même temps que l'air poussé par des ventilateurs se sature d'humidité dans des échangeurs, et vient en dessous des planchers perforés traverser les tas. Les échangeurs sont ici des cylindres en toile métallique, tournant autour de leur axe horizontal, et plongés en partie dans l'eau.

Avec de légères modifications ou simplifications, nous ne voyons nulle impossibilité à ce que ces systèmes deviennent applicables aux petites installations. La seconde partie du problème, qui consiste à refroidir l'air, et en même temps à le saturer d'humidité par pulvérisation d'eau, passage à travers une colonne à coke, ou série de barbotages dans l'eau froide, nous semble particulièrement réalisable, et applicable aux germoirs actuels. En hiver, il n'y aurait qu'à réchauffer cette eau à température convenable pour maintenir la température des tas au degré voulu.

(**192**) *Dessiccation et touraillage.*

Ainsi que nous l'avons vu (**112**), les diastases en solution ou simplement humides, sont détruites à une température supérieure à 70°, mais, si elles sont préalablement desséchées, elles peuvent facilement résister à des températures beaucoup plus élevées et dépassant 100° C.; si l'on se rappelle en outre que la germination de l'orge est arrêtée à la température de 28° C., on verra de suite les conditions auxquelles doit correspondre un bon procédé de chauffage du malt.

Tantôt on opère un simple séchage par de l'air sec chauffé par des chaleurs perdues, tantôt l'on procède au touraillage. Le premier procédé, peu employé en France, nous semble insuffisant, car il ne détruit pas les germes qui, malgré toutes les précautions, ont pu s'introduire à la surface des grains de malt ; d'autre part, dans les tourailles actuelles de brasserie où l'on charge directement le malt vert, il arrive trop fréquemment que l'on atteint la température de 70° avant que le malt soit complètement sec, de là, perte considérable de diastase.

On ne doit pas perdre de vue dans cette opération, que le but du touraillage n'est pas exactement le même en distillerie et en brasserie.

Le brasseur en effet, cherche par le touraillage non seulement à conserver son malt, mais encore à lui communiquer un arôme spécial, arôme obtenu soit par des modifications de l'amidon ou des sucres formés en présence de l'humidité, soit par des modifications ou caramélisations plus ou moins prononcées de ces amidons ou sucres, à températures plus ou moins élevées. Peu lui importe de détruire une partie de l'amylase, pourvu qu'il lui en reste assez pour saccharifier l'amidon restant dans le malt et la petite quantité de farine qu'il lui ajoute parfois. L'arôme a pour lui une importance de premier ordre.

En distillerie au contraire, notre but est uniquement d'obtenir le maximum d'amylase et de la conserver, il faut donc s'arranger pour sécher d'abord le malt à une température voisine de 60°, puis *lorsqu'il est complètement sec*, le chauffer pendant quelques

heures à 90 ou 100° pour détruire les germes, pour le stériliser. Ces précautions ne sont pas difficiles à réaliser avec un peu de soin dans une touraille ordinaire, mais encore plus facilement et plus économiquement par séchage et chauffage méthodiques. Il n'y a à faire d'exceptions sur ce point en distillerie, que pour l'obtention de quelques eaux-de-vie de grains spéciales, telles le genièvre et le wiskey qui demandent un touraillage à arôme comme en brasserie.

Mais toutes les fois qu'il sera possible de malter journellement la provision de *malt vert* nécessaire au travail de l'usine, nous conseillerons l'emploi de ce dernier. Le malt vert a en effet, à poids égal, un pouvoir saccharifiant égal à celui du malt sec ; or, comme 150 parties de malt vert ne donnent qu'environ 80 parties de malt sec, on comprend l'économie ainsi réalisée.

Cette donnée, d'égalité de richesse en diastase des deux malts, est à vrai dire exagérée si l'on fait la comparaison avec un malt touraillé avec toutes les précautions que nous venons d'indiquer, mais en pratique elle est plutôt supérieure à ce que l'on obtient des malts secs du commerce.

(193) *Cuisson des matières amylacées.*

Nous ne parlerons que pour mémoire des anciens procédés de cuisson à air libre que l'on effectuait dans des cuves en bois, procédés qui n'étaient d'ailleurs appliqués qu'aux pommes de terre et parfois à des fécules ou farines avariées. Aujourd'hui ce procédé est complètement abandonné et remplacé par la *cuisson sous pression* imaginée par Schulze, puis perfectionnée par Henze qui, le premier, démontra la possibilité de travailler les grains les plus durs sans mouture préalable tout en obtenant un excellent empois, enfin améliorée par les divers constructeurs.

Actuellement un cuiseur est un autoclave de forte tôle, en forme de cône placé la pointe en bas, et surmonté dans quelques modèles d'une courte partie cylindrique. A la partie supérieure il porte un trou d'homme pour le chargement des matières, un manomètre et une soupape de sûreté ; à la partie inférieure

(pointe du cône), une grosse soupape de vidange et un système de chauffage par barbotage. Il est bon d'y adjoindre un petit robinet pour l'écoulement des eaux si cela est nécessaire, ou pour les prises d'échantillons.

La figure 71 montre la disposition d'un cuiseur des plus employés.

La quantité de matière est tout d'abord introduite dans le cuiseur par le trou d'homme que l'on ferme ensuite. Les pommes de terre sans eau, les grains additionnés de 150 à 200 kil. d'eau pour 100 kilogrammes de grains. Puis on ouvre la vapeur.

Le tableau suivant donne la capacité à donner aux cuiseurs suivant la quantité des diverses matières que l'on y doit travailler par opération.

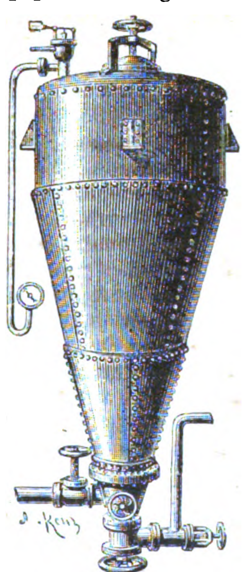


Fig. 71. – Cuiseur Fontaine.

CAPACITÉ	POMME DE TERRE	GRAINS
430 litres	250 kilogr.	85 kilogr.
580 »	350 »	115 »
765 »	450 »	150 »
960 »	600 »	200 »
1215 »	750 »	250 »
1480 »	900 »	300 »
1850 »	1100 »	370 »
2250 »	1350 »	450 »
2660 »	1600 »	530 »
3100 »	1850 »	620 »
3625 »	2150 »	720 »
4240 »	2500 »	850 »
4675 »	2750 »	935 »
5100 »	3000 »	1020 »
5525 »	3250 »	1100 »
5950 »	3500 »	1170 »
6375 »	3750 »	1250 »

S'il s'agit de pommes de terre, on ouvre en même temps le robinet des eaux dont nous avons parlé, car la vapeur au début se condense et diluerait ici inutilement le moût. On ferme ce robinet dès que l'écoulement d'eau a cessé et que la vapeur se dégage par la soupape puis on porte la pression jusqu'à 2 kil., 5 ou 3 kil. au manomètre, pression que l'on maintient jusqu'à la fin de l'opération qui dure de 40 à 50 minutes pour les pommes de terre.

Pour les grains entiers, on monte à une pression de 3 kilogrammes ; vers la fin on pousse à 3 kil., 5 et 4 kilogrammes pendant un quart d'heure environ ; l'opération dure de 2 à 3 heures au maximum suivant la pression employée.

Tout le succès de l'opération consiste à savoir maintenir bien homogène la masse sous pression. On avait donc pensé à l'origine à l'emploi des agitateurs, puis on a fait pénétrer la vapeur de barbotage par une série d'orifices inclinés, ou par des injecteurs disposés de façon à produire dans le cuiseur un tourbillon continuel. Ce dernier dispositif est seul conservé, mais ne produit tout son effet qu'à condition de travailler à *soupape soufflante;* c'est-à-dire qu'on déplace le poids de la soupape de sûreté, de façon à ce que celle-ci se lève à la pression désirée en laissant continuellement échapper un filet de vapeur.

L'agitation ainsi produite donne d'excellents résultats, mais a l'inconvénient de dépenser une forte proportion de vapeur, aussi pour les installations importantes a t-on pris la précaution de disposer les cuiseurs en batteries de 3 à 5, la vapeur sortant du premier allant chauffer le second, etc.

Une autre partie fort importante du cuiseur est la disposition de la vidange. Il importe en effet, que l'empois ainsi formé sorte de l'appareil aussi homogène que possible, et pour cela on a imaginé de nombreux dispositifs : vannes à arrêtes vives, grilles superposées à lumière réglable, broyeurs spéciaux tels que le broyeur mécanique Bohm, etc. Ces dispositifs sont si nombreux que nous ne pouvons entreprendre leur énumération. Disons simplement que cette extrême division est facile à obtenir en raison de l'état pâteux et mou de la

masse. Dans certains montages on a préféré mettre le broyage dans l'appareil de saccharification ainsi que nous allons bientôt le voir.

Quel que soit le dispositif adopté à la sortie du cuiseur, la pression finale vient en aide pour obtenir une bonne division de l'empois.

(194) *Saccharification par le malt.*

L'empois, tel qu'il sort du cuiseur, est à 135 ou 140° de température. Dès qu'il prend contact de l'atmosphère, la température s'abaisse *ipso facto* vers 100°, en même temps qu'il se dégage brusquement une forte quantité de vapeur.

La température du moût serait encore beaucoup trop élevée ainsi, et le lait de malt verrait détruire sa diastase.

Voici le système de réfrigération qui est employé d'une façon tout à fait générale.

Le saccharificateur ou macérateur est surmonté d'une cheminée en tôle assez large, à la base de laquelle se trouve une chambre un peu renflée, et munie d'une porte de visite. On y fait déboucher le tuyau de décharge du cuiseur, l'orifice dirigé vers le bas. Le jet se pulvérise contre un disque en tôle, et en même temps, au moyen d'un jet de vapeur vive faisant office de souffleur à la base de la cheminée, on provoque un abondant appel d'air qui traverse la nappe mince du moût, et produit le refroidissement au degré voulu. Cette chambre spéciale de décharge et réfrigération du moût s'appelle l'*exhausteur*.

Pour que l'abaissement de température ait le temps de se produire, l'ouvrier a soin de modérer la sortie de l'empois du cuiseur; la vidange demande ordinairement de 20 à 30 minutes. Plus on veut aller vite et plus il faut dépenser de vapeur par le souffleur.

L'ouvrier ne perd pas de vue le thermomètre du macérateur, et la façon dont la température s'élève progressivement lui permet de guider la vidange, de manière que la masse se trouve finalement à la température précise de 65° imposée pour la macération.

La figure 72 donne une disposition de l'ensemble

des appareils nécessaires à cette opération. A est le cuiseur et B l'exhausteur destiné à refroidir le moût avant son arrivée dans la cuve matière C ou saccharificateur proprement dit ; D est un dépeleur centri-

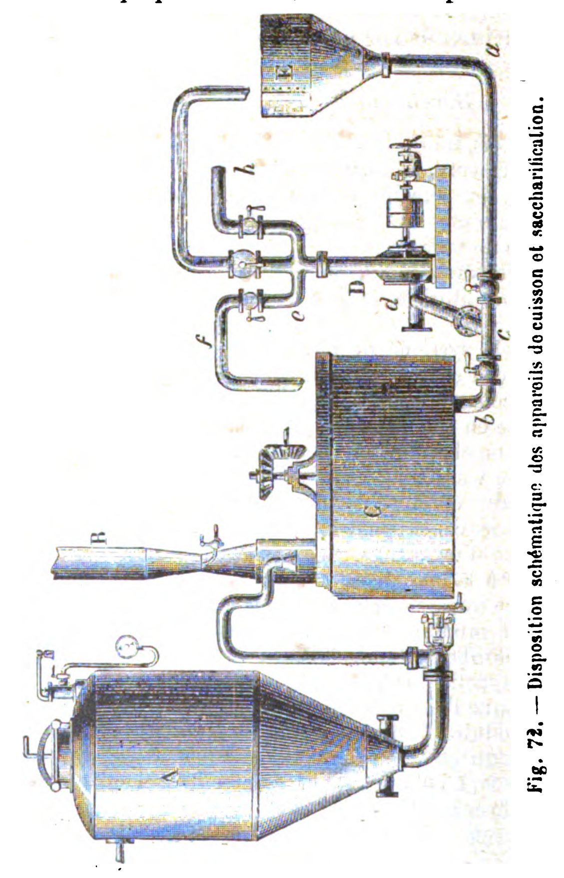


Fig. 72. — Disposition schématique des appareils de cuisson et saccharification.

fuge pouvant à volonté par un simple jeu de robinets aspirer et refouler dans les cuves C ou E ; cette dernière est une petite cuve destinée à la préparation du lait de malt.

Ceci posé voici comment on fait une opération :

Une heure environ avant la fin de la cuisson, on met de l'eau dans le bassin E et on y introduit peu à peu le malt vert simplement concassé, ou le malt sec préalablement moulu finement. Le liquide, continuellement aspiré et refoulé par le dépeleur, se transforme en lait, les particules solides qui pouvaient rester se trouvent broyées, et le lait de malt ainsi préparé est envoyé dans le saccharificateur C. A ce moment la cuisson est terminée, et l'on commence la vidange du cuiseur en faisant fonctionner l'exhausteur, le dépeleur est toujours en mouvement mais aspirant et refoulant dans la cuve C.

Il est important de surveiller de près la température, et d'après les expériences de MM. Brown et Héron que nous avons rappelées (**112**) tous les efforts doivent tendre à empêcher la température du mélange de dépasser 65° C ; pour obtenir la plus faible proportion possible de dextrine dans les produits de transformation de l'amidon, il faudrait une température plus basse encore ; mais la température de 64-65° est reconnue la meilleure parce qu'il faut tuer les ferments butyriques.

D'autre part, si à un moment quelconque la diastase se trouvait portée à une température élevée, le mal serait irrémédiable, et la saccharification, malgré les refroidissements, se continuerait comme si la température était maintenue au point le plus élevé atteint par la diastase.

Tous les soins de l'industriel devront donc porter sur les moyens d'assurer le refroidissement rapide du moût, et si l'exhausteur ne suffit pas, il adjoindra un serpentin réfrigérant dans la cuve matière pour compléter la réfrigération au degré voulu.

Un autre facteur très important pour le succès de l'opération est le brassage énergique et prolongé de l'empois et du lait de malt ; il faut un mélange très intime, détruire les grumeaux s'il en existait, et broyer les agglomérations de cellules. Plus le contact est renouvelé, plus la saccharification est rapide et complète.

Plusieurs systèmes ont été employés pour atteindre ce but ; ils peuvent se ramener à trois types : 1° le type

de la pile à papier appliqué par Ellenberger, 2° le type du broyeur centrifuge adopté par Bohm et 3° le type à meules employées par Paucksh. Tous les appareils de ces trois types peuvent donner de bons résultats lorsque leur construction permet le réglage facile de l'écartement des parties broyantes.

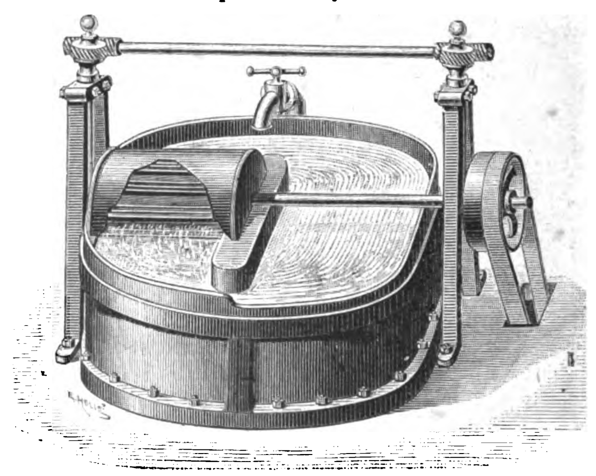


Fig. 73. — Pile à papier, ou dépulpeur Ellenberger.

Enfin dans certains appareils, du moment que le lait de malt a été parfaitement broyé à part, le constructeur se contente de munir le macérateur d'un mécanisme de brassage très énergique. Tels sont les macérateurs Nowak et Jahn (de Prague), et Fontaine (de la Madeleine). Le brassage est fait par une hélice animée d'un mouvement de rotation rapide ; des chicanes spéciales donnent au liquide un courant d'aspiration vers le centre de l'hélice, et après passage dans l'hélice, le moût est lancé violemment en remous tumultueux.

Ces types de macérateurs, ainsi que ceux de Kyll, de Paucksch, etc., sont pourvus de réfrigérants intérieurs ; de cette façon, une fois la saccharification terminée, le refroidissement du moût jusqu'à température de fermentation se fait dans l'appareil même sans aucun transvasement. C'est le système qui nous semble

le meilleur, parce qu'il évite les contaminations, et qu'il fournit d'un seul coup les masses de moût bien homogènes pour le chargement d'une cuve de fermentation.

D'autres constructeurs, tels que Venuleth, ont un réfrigérant spécial à la suite du macérateur ; le moût est repris par pompe, et refoulé dans le réfrigérant, pour couler de là dans les cuves de fermentation.

La durée de la macération doit être prolongée autant qu'il est possible, *au moins deux heures*. C'est une faute grossière que d'écourter cette phase capitale du travail. Voir (**112**) pour la théorie de la saccharification.

Nous conseillons beaucoup d'organiser le travail des grains par phases exactes de 4 heures, ce qui fait 6 opérations par 24 heures. De cette façon l'on peut régler militairement les divers postes, pour qu'aucune opération ne soit mise en retard par sa voisine.

Supposons que l'on règle les chargements des cuiseurs pour être effectués à midi, 4 heures, 8 heures, minuit, 4 heures du matin et 8 heures du matin.

Si la préparation du lait de malt exige une heure et demie, l'ouvrier devra commencer ses laits de malt à 1 heure 1/2, 5 h. 1/2, 9 h. 1/2, etc.

Ce qui est le plus important de tout, c'est que le levain soit prêt juste à l'heure dite ; on n'obtiendra cette concordance que si les périodes sont toujours exactement de même durée. Supposons que la fermentation du levain, depuis la mise en levure jusqu'à sa maturité exige 14 heures. Nous devrons couler un levain à 7 heures 1/2, à 11 h. 1/2, à 3 h. 1/2 etc. Les levains devront donc eux-mêmes être régulièrement mis en fermentation à 5 heures 1/2 du matin pour coulage à 7 heures 1/2 du soir, à 9 h. 1/2 matin, à 1 h. 1/2 du soir, etc.

Le travail général est considérablement facilité par cet ordre rigoureux dans toutes les opérations, et les ouvriers prennent le pli de l'exactitude, car aucune négligence ne peut être déguisée.

La macération emploiera comme suit les 4 heures qui lui sont dévolues :

Vidange du cuiseur	20'	à	25'
Saccharification	2h 40'	à	2h 50'
Refroidissement	35'	à	45'
Vidange	10'	à	15'
Nettoyage	5'	à	10'
Introduction du lait de malt pour l'opération suivante	10'	à	15'
		4 heures	

Il importe que le refroidissement soit énergique pour faire franchir en peu de temps la température critique de 40°. Le moût doit être refroidi à 20° ou 22° au maximum.

(**195**) *Dosage de l'amidon et contrôle chimique.*

Dans les pommes de terre, on se contente le plus souvent d'une approximation fondée sur le rapport de la densité et la richesse en amidon des tubercules.

Densité	Matière sèche	Amidon	Densité	Matière sèche	Amidon
1080	19,7	13,9	1120	28,3	22.5
82	20,1	14,3	22	28,7	22.9
84	20,5	14,7	24	29,1	23,3
86	20,9	15,1	26	29,5	23,7
88	21,4	15,6	28	30,0	24,2
1090	21,8	16,0	1130	30,4	24,6
92	22,2	16,4	32	30,8	25,0
94	22,7	16,9	34	31,3	25.5
96	23,1	17,3	36	31,7	25,9
98	23,5	17,7	38	32,1	26,3
1100	24,0	18,2	1140	32,5	26,7
02	24,4	18,6	42	33,0	27,2
04	24,8	19,0	44	33,4	27.5
06	25,2	19,4	46	33,8	28,0
08	25,7	19,9	48	34,3	28,5
1110	26,1	20,3	1150	34,7	28,9
12	26,5	20,7	52	35,1	29,3
14	26,9	21,1	54	35 6	29,8
16	27,4	21,6	56	36,0	30,2
18	27,8	22.2	58	36,4	30,6

On détermine à l'aide d'une balance hydrostatique la densité des pommes de terre sur un échantillon

moyen de 5 kilogrammes. Cette balance porte d'un côté deux paniers superposés, dont l'un, l'inférieur, plonge dans l'eau. On tare le système, on pèse dans le panier supérieur 5 kilogrammes de pommes de terre, puis on les fait passer dans le panier inférieur et on enlève des poids pour rétabir l'équilibre. En divisant par 5 le 2e poids, on a la densité des pommes de terre (1).

Pour avoir une analyse plus exacte des diverses matières amylacées, on râpe la pomme de terre ou l'on moût finement le grain. Exemple 200 grammes de pommes de terre râpées, ou 100 grammes de grains moulus, que l'on introduit dans un grand ballon avec 700 c. c. d'eau acidulée par 10 c. c. d'acide chlorhydrique, et l'on chauffe à l'ébullition au bain de sable pendant 10 heures.

Pour éviter l'évaporation, le ballon est en communication avec un réfrigérant ascendant dont on laisse la température assez élevée. Après 10 heures la saccharification est terminée et le volume ramené à un litre dans un ballon jaugé. On procède alors au dosage du glucose soit par liqueur cuivrique soit par fermentation.

Ce que nous avons dit des difficultés de saccharification par les acides montre les légères causes d'erreur de ce procédé.

Procédé Baudry (2). Le procédé de M. A. Baudry repose sur les faits suivants :

1° Que les acides salycilique et benzoïque solubilisent complètement à chaud l'amidon ;

2° que l'amidon solubilisé possède la propriété de dévier à droite le plan de la lumière polarisée ;

3° que la déviation est proportionnelle à la quantité d'amidon solubilisé pour une même épaisseur de liquide observé.

Les acides salicylique et benzoïque sont des dissolvants aussi commodes qu'énergiques et pouvant être employés à faible dose. L'amidon solubilisé ayant un

---

(1) Voir pour les essais par densités des pommes de terre, le travail de M. Aubin, dans *L'Alcool et le Sucre*, Février 1894.

(2) Voir la description détaillée du procédé dans le *Bulletin de l'Association des Chimistes*, Numéros de septembre-octobre 1891.

pouvoir rotatoire énorme, le procédé d'analyse est extrêmement sensible; $[\alpha]_D = + 202^o,66$ soit 3,011 fois plus que le saccharose.

Pour faire l'analyse, on râpe les pommes de terre avec la râpe Keil; on en pèse 5 gr. 376, que l'on introduit dans un ballon de 200 c. c. de façon à former 80 ou 90 c. c. On ajoute 50 centigrammes d'acide salicylique, et l'on fait bouillir 45 à 50 minutes. On complète à 200 c. c. et on refroidit. On ajoute 1 c. c. d'amoniaque, pour colorer en jaune clair. On jauge le ballon, on l'agite, on laisse digérer et reposer quelque temps, puis on filtre et on polarise dans un tube de 400 millimètres. Le nombre de degrés ou de dixièmes lus sur l'échelle donne directement la teneur en amidon pour 100 grammes de pommes de terre essayées.

Ce procédé est très utile pour opérer des sélections de pommes de terre, tout comme l'on améliore les betteraves par les sélections basées sur le dosage du sucre.

CHAPITRE VI

Fermentation et Distillation des Matières amylacées.

---

(196) *Préparation des levains par la méthode allemande.*

La préparation des levains de grains semble devoir être en tous points semblable à la préparation des moûts; quelques causes secondaires ont pourtant fait adopter un mode de travail entièrement différent. La saccharification à haute température a, dit-on, le défaut de coaguler une certaine quantité de substances azotées nécessaires à la rapide prolification des levures, et en outre, la température de saccharification par le malt qui, comme nous l'avons vu, ne doit pas dépasser 65°, est insuffisante pour détruire les germes de moisissures et de ferments.

Pour tourner cette double difficulté, de stériliser le moût et de ne pas coaguler les matières albumineuses, on a adopté en Allemagne un moyen terme qui ne résout pas absolument la question à notre avis, mais que nous décrirons parce qu'il est encore le plus employé, et que cette innovation allemande des levains a fait faire de grands progrès à notre industrie.

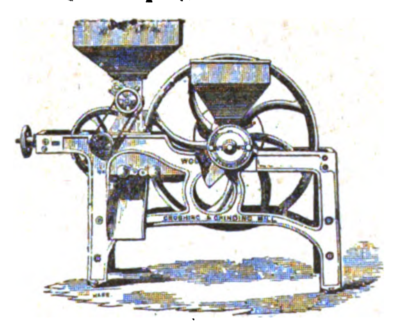


Fig. 74. — Moulin à malt vert.

Les levains se font, soit avec le malt vert seul, soit avec un mélange de grains et de malt vert ou sec, le plus ordinairement seigle et malt vert. Le malt vert est préalablement broyé finement, et le grain ou le malt sec moulus et souvent même blutés grossièrement pour enlever les gros sons.

On introduit dans un malaxeur à moûts levains :

Le malt broyé, le grain et l'eau chaude, dans la proportion de 150 litres d'eau par 100 kilogrammes de malt vert, ou 50 kilogrammes de malt vert et 10 kilogrammes de seigle, et l'on procède à la saccharification.

Le malaxeur à moûts levains est, en somme, une cuve-matière à agitateur et à double enveloppe. Par circulation d'eau chaude ou froide entre ces deux enveloppes, on peut exactement régler la température ; d'autres constructeurs se contentent d'un barboteur de vapeur.

L'eau introduite dans le mélange est à une température telle que celui-ci atteigne environ 63°, puis on fait fonctionner l'agitateur pendant une heure. Après saccharification on élève légèrement la température

qui, toutefois, ne doit pas dépasser 68°. Lorsque le mélange est bien homogène, l'on vide le moût levain ainsi préparé dans une cuve ouverte en bois.

Si le levain a été préparé bien épais, il ne se produit pas de décantation, et au contraire, il monte à la surface une sorte de chapeau qui protège le levain contre le refroidissement. C'est une condition indispensable, car, toutes les fois qu'un levain décante, le liquide surnageant se refroidit et se tient aux températures critiques favorables à la fermentation butyrique.

L'air dépose sur le levain des germes de bacilles lactiques qui commencent à se développer dès que la température est tombée à 55° ; le maximum a lieu entre 50° et 45°. Le but de cette opération est de produire l'acidification du moût par l'acide lactique, auquel on attribue, non sans quelques raisons, un pouvoir antiseptique assez puissant sur les moisissures et les bactéries anaérobies. Cet acide possède, en outre, comme les acides minéraux et peut être, à un plus haut degré que certains d'entr'eux, la faculté de solubiliser les matières azotées pour les rendre assimilables par la levure (**110**) ; c'est ce que l'on appelle la peptonisation.

Dans l'ouvrage allemand de Dürst (1), on trouvera une étude approfondie à ce sujet ; des vues microscopiques montrent l'état comparatif du moût avant et après la fermentation lactique ; on voit nettement que les magmas glutineux insolubles ont presque totalement disparu en fin de lactification.

L'acidification lactique doit durer de 40 à 60 heures. Cela dépend de la façon dont le levain sait conserver sa température. L'acidité, dans une opération bien conduite, doit atteindre au moins 1 gr. 2 à 2 grammes, comptés en acide sulfurique. Cette dose est indispensable pour constituer une protection de la fermentation ultérieure contre les mauvaises bactéries.

On refroidit alors le moût à 20° par un serpentin d'eau froide, on le dilue à 16 ou 14 degrés Balling, et on y ensemence la levure mère ; au bout de dix à quinze heures, suivant la concentration du levain,

(1) *La Fabrication de la Levure pressée*, par Dürst.

celui-ci est en pleine fermentation, la levure est mûre.

Cette maturité du levain est indiquée pratiquement par lè saccharomètre Brix ou Balling, dont on se sert pour contrôler l'avancement de la fermentation, le degré primitif du moût doit avoir diminué de moitié. On peut, en outre, vérifier cette maturité par l'examen microscopique, les cellules doivent être en pleine puissance de bourgeonnement et on ne doit voir que très peu de vieilles cellules ratatinées.

Pendant cette opération, la température monte de 18° ou 20° à 25° environ ; il faut éviter qu'elle dépasse cette température, et, si l'on n'emploie pas le levain de suite, il est bon, lorsque cette maturité est atteinte, d'abaisser sa température en dessous de 15° pour empêcher que, la fermentation continuant, la levure vieillisse.

Le levain est prêt à être envoyé à la cuverie pour servir de pied de cuve aux moûts ; mais on a soin préalablement d'en prélever une partie qui servira de *levure mère* pour les opérations suivantes, en général le 1/10 du volume. Cette levure mère est introduite dans des bouteilles, ou seaux en cuivre fermés, que l'on plonge aussitôt dans un bac à circulation d'eau froide où la température est maintenue à 10° — 12° environ, de manière à arrêter la fermentation de la levure mère jusqu'au moment de son emploi.

Souvent même, après ce prélèvement de levure mère et avant d'envoyer le levain à la cuverie, on *renforce le levain*, en y ajoutant jusqu'à son volume de moût ordinaire ; la fermentation s'établit rapidement et devient bientôt tumultueuse par la production de cellules nouvelles, et c'est alors seulement qu'on l'envoie à la cuverie. Ou bien encore, c'est dans la grande cuve que l'on fait ce renforcement du pied avant de déverser la macération.

Ces procédés donnent d'excellents résultats lorsqu'ils sont entre des mains exercées, mais, comme tous les procédés empiriques, ils sont un peu capricieux. L'acidification par l'acide lactique est surtout sujette à caution. Parfois, au début de la campagne, la fermentation lactique ne s'établit pas et il faut la provoquer par introduction de lait caillé ; or, un semblable en-

semencement entraîne toujours avec lui l'ensemencement connexe du *bacillus butyricus*, ainsi que nous l'avons vu (**115**), et, bien que par les précautions que nous venons d'indiquer pour les températures de saccharification on arrive à rendre l'action de ce bacille presque nulle, il ne se trouve pas moins introduit dans les levains, puis dans les moûts, et il suffira d'un accident, d'une faute d'attention dans les températures, pour que la fermentation butyrique se déclare amenant les plus grands désordres dans la cuverie.

Pour donner une idée des procédés usités en Allemagne, nous citerons le suivant, indiqué par Riebe de Trotha, et préconisé par Maercker, à l'ouvrage duquel nous l'empruntons :

« Deux jours avant le commencement de la cam-
« pagne, on prépare un moût de levain qu'on laisse
« s'acidifier après y avoir ajouté une certaine quan-
« tité de lait aigre. On prend ensuite ce moût levain,
« on le divise dans plusieurs cuves, et l'on frotte le
« sol de l'atelier à levain avec du lait aigri. »

Une semblable recommandation est, on le voit, en contradiction absolue avec les règles de propreté méticuleuse que l'on doit observer de toutes parts en distillerie, surtout dans l'atelier des levains. Il est en effet bien évident, que l'on ne peut laisser subsister dans l'atmosphère d'un atelier des bacilles de ferments lactiques, ou leurs spores, sans y laisser vivre en même temps d'autres germes.

Nous ne pouvons donc que rejeter un semblable mode de travail. Et pour ceux qui considèrent l'acidification lactique comme indispensable, nous dirons que cette acidification serait beaucoup meilleure, et plus correcte, si elle était obtenue par de l'acide lactique proprement dit, préparé en dehors de l'atelier. On aurait ainsi l'acide lactique, mais sans le bacille, et de plus on pourrait toujours titrer l'acidité au point que l'on voudrait.

La température de 65° employée pour la saccharification, suffit pour tuer les bacilles et les mucédinées, mais est insuffisante pour détruire leurs spores, au moins pour plusieurs variétés connues et non des moins nuisibles. En se reportant à ce que nous avons

vu de l'action des diastases et de la saccharification des matières amylacées par le malt, on voit que la saccharification du levain à semblable température est fort incomplète. On ne peut cependant pas songer à opérer à 55°, puis à chauffer ensuite à 65° 68°, car ici on opère sur des matières crues, la formation d'empois est nulle à 55° et la saccharification serait difficile.

Aussi, lorsqu'on laisse fermenter seul un levain, on en tire à peine 25 litres d'alcool 100° par 100 kilogrammes de grains, ou de malt vert, soit une perte de 30 à 40 % sur le rendement pratique que devrait donner le même grain ou malt suivant sa richesse en amidon. Et comme on emploie en France de 8 à 10 % du grain total mis œuvre à la fabrication des levains ; les levains préparés par ce procédé entraînent avec eux une perte de 3 à 4 % d'alcool. Dans les pays où l'impôt porte sur la capacité des cuves, et où la première préoccupation du distillateur est de payer le fisc, quitte à sacrifier un peu au rendement, la proportion de grain employée en levains atteint 12 et 15 %, et la perte augmente dans les mêmes proportions.

On voit donc les nombreux défauts que présente cette méthode encore aujourd'hui la plus employée, car bien des praticiens considèrent l'acide lactique comme absolument indispensable à la préparation d'un bon levain. En vérité, c'est un antiseptique puissant contre les ferments butyriques, mais, aujourd'hui, nous avons mieux pour remplacer cet acide, coûteux nous venons de le voir, et de production empirique, et par suite, assez irrégulière. Aussi, après avoir rendu à cette méthode le juste hommage d'avoir été la première méthode pratique, qu'il nous soit permis de dire qu'elle doit maintenant faire place à des méthodes plus scientifiques, plus nouvelles, fondées sur les théories de l'école de Pasteur, et que, pour cette raison, on désigne sous le nom de méthodes françaises.

(**197**) *Préparation des levains par les méthodes françaises.*

Ces méthodes sont assez nombreuses et plusieurs d'entre elles ont été l'objet de brevets, nous n'entreprendrons pas de les décrire toutes en détail : elles

sont, d'ailleurs, toutes fondées sur deux principes, visant au même but : *stérilisation par la chaleur*, ou *stérilisation par les antiseptiques*, pour arriver à la fermentation par levures pures, ou tout au moins aussi pures que possible.

Le plus ancien des procédés par *stérilisation par la chaleur* est le procédé F. Billet, étudié par son auteur, spécialement en vue de produire la levure pressée par saccharification des grains par les acides. Nous en avons déjà parlé (**187**). Ce que nous en retiendrons ici, c'est que l'on a fortement exagéré le pouvoir coagulant de la chaleur sur les matières albumineuses des grains, au moins en présence des acides minéraux.

Il y a encore trop d'inconnues dans nos connaissances sur les matières albuminoïdes, pour que nous cherchions à expliquer ce fait que nous nous bornons à constater, fait contrôlé depuis par la pratique. Nous en citerons un exemple dans le mode de préparation du moût levain, adopté par M. G. Jacquemin (1) pour la prolification de ses levures pures de vin :

« On prépare un moût épais au moyen de 150 kilogrammes de grains, dont un quart malté pour 15 hectolitres d'eau. On commence par chauffer à 65° pour permettre au malt de commencer à transformer l'amidon, et l'on reste une heure à cette température. L'opération peut se faire dans un macérateur à double fond à agitateur mécanique, dont le type est bien connu. De là le moût saccharifié descend dans une cuve en bois de 20 hectolitres, où l'on commence par effectuer la stérilisation. Dans ce but, on porte la température à 100°, au moyen d'une injection de vapeur, et l'on maintient cette température pendant une demi-heure, puis on refroidit le moût à 45° au moyen d'une circulation d'eau froide dans le serpentin.

« Pendant la durée du refroidissement, la cuve est soigneusement fermée au moyen d'un couvercle à joint hydraulique. On ajoute un peu d'acide sulfurique et l'action saccharifiante complémentaire qu'il produit doit se poursuivre pendant trois heures à la température de 45°, la cuve restant toujours fermée pour éviter

---

(1) *L'Alcool et le Sucre*, 1re année, nos 1 et 3.

l'introduction des germes de l'air. Puis on achève de refroidir à 25°, qui est la meilleure température de fermentation pour la race de levure de vin que j'ai choisie. »

Ce procédé est, on le voit, intermédiaire entre la méthode allemande et les méthodes françaises, et était destiné par son auteur à la préparation de pieds de cuve pour la fermentation des mélasses. Dans les usines travaillant le grain ou les pommes de terre par le malt vert, il est encore plus simple de prendre le moût ordinaire de l'usine, saccharifié à la température de 65°, pour la préparation du moût levain.

Le moût ainsi prélevé est renforcé par l'addition d'une certaine proportion de malt ; puis, après une demi-heure de brassage, est porté à la température de 100° pendant environ trente minutes, pour obtenir la stérilisation, enfin, au moment où l'on arrête le chauffage, on y ajoute une dose d'acide sulfurique dilué telle que l'acidité du moût corresponde à 0 gr. 75 par litre : on laisse refroidir lentement dans la cuve même qui est munie d'un serpentin et fermée. Après deux à trois heures, l'acide ayant complété la saccharification et agi sur les matières albuminoïdes, on refroidit rapidement à la température convenable pour la levure choisie (20° pour la levure de bière), et l'on procède à la préparation des levains, exactement comme nous l'avons indiqué (**166**), pour la préparation des levains de betterave.

Il peut arriver, surtout avec les moûts de pommes de terre, peu riches en matières protéïques, que le levain ne soit pas assez nutritif pour les levures ; on y remédie facilement par une addition de peptone ou malto-peptone, ou bien en ayant soin de confectionner le lait de malt, non plus avec de l'eau, mais avec des drêches sortant de la colonne et filtrées autant que possible.

Ce dernier procédé par emploi des drêches, préconisé pour la première fois par Delbruck, a été très discuté en Allemagne, ce qui n'est pas pour nous surprendre avec la méthode employée en ce pays, et qui ne comporte pas de stérilisation. En fait, la vinasse claire de drêches est un liquide chargé de toutes les matières

solubles protéïques des grains et levures de l'opération précédente; c'est un excellent bouillon de culture, non seulement pour les levures, mais encore pour les bactéries, et qui, par suite, exagère les qualités et les défauts de la méthode allemande; aussi les moindres négligences de propreté ou de surveillance des températures ont-elles amené de nombreux échecs entre les mains de praticiens moins rigoureux et moins expérimentés que Delbruck, qui en avait obtenu les meilleurs résultats. Avec la stérilisation que nous avons indiquée, les échecs ne sont plus à craindre, et l'on aura toujours de bons résultats, en ayant soin de prélever les drêches au sortir de la colonne pour éviter toutes les fermentations putrides d'une part, et d'autre part, en tenant compte de leur acidité pour le dosage de l'acidité finale du moût-levain.

Les méthodes fondées sur la stérilisation, par les antiseptiques, sont dues surtout aux travaux du docteur Effront (1), qui montra que l'emploi des acides minéraux, dans la fermentation des matières amylacées, combat le développement des bacilles lactiques et butyriques, qui sont les plus grands ennemis de la diastase, mais il a reconnu en même temps que les doses d'acide sulfurique ou chlorhydrique, nécessaires pour combattre ces ferments, ont elles-mêmes une action néfaste sur cette diastase, tandis que l'acide fluorhydrique, à dose convenable, préserve le moût de l'action des bacilles sans attaquer sensiblement l'amylase.

Le docteur Effront, dont les procédés sont brevetés, employait un lait de malt renfermant 0 gr.,035 à 0 gr.,040 d'acide fluorhydrique HFl par litre, lait de malt fait à froid que l'on ajoutait ensuite à l'empois de grains cuits sortant du cuiseur, et refroidi à la température d'environ 40°; il y ajoutait ensuite une quantité d'acide fluorhydrique, telle que la dose de celui-ci, dans le moût, correspondît à 0 gr. 02 à 0,025 d'acide HFl par litre de moût; puis, dès que la saccharification était en bonne marche, il ajoutait la levure. La fermentation et la saccharification se poursuivaient

(1) *Moniteur scientifique du Dr Quesneville*, 4e série, t. IV, pages 449 et 790.

ainsi parallèlement, l'acide fluorhydrique, à ces doses faibles, semblant exalter le pouvoir fermentescible des levures.

Ces essais sur l'acide fluorhydrique ont été depuis poursuivis par M. E. Sorel qui, en portant la dose d'acide fluorhydrique à 0 gr. 040 d'acide HFl par litre dans les moûts de la cuverie, a pu supprimer la fabrication des levains dans la distillation des matières amylacées, et opérer par coupage des cuves, ou fermentation continue, comme nous l'avons vu pour la fermentation des betteraves (**165**). M. Sorel a pu ainsi obtenir industriellement un rendement de 64 litres d'alcool par 100 kilogrammes d'amidon, et les drêches obtenues étaient consommées avec avidité par le bétail, et sans aucun accident.

Ces essais nous montrent tout le parti que l'on peut tirer de l'acide fluorhydrique dans la préparation des levains et dans la fermentation.

Le docteur Effront avait également indiqué que la levure alcoolique, primitivement incapable de vivre dans un milieu renfermant 160 milligrammes d'acide HFl par litre (ou 300 milligrammes de fluorure d'ammonium), peut être amenée, par une série de cultures en milieux de plus en plus riches en fluorure, à se développer dans un milieu précédemment mortel. M. Sorel, en reprenant industriellement ces essais, a pu faire vivre des levures dans des milieux renfermant jusqu'à 266 milligrammes d'acide HFl par litre, et même (essais de laboratoire) 1 gramme par litre. Dans ces conditions, la levure ne perd aucunement son pouvoir ferment, bien au contraire, la prolification se trouve momentanément génée, et tout le travail de la levure se trouve porté sur la transformation du sucre en alcool et acide carbonique; la levure, ainsi habituée à vivre dans un milieu riche en acide fluorhydrique, et transplantée ensuite dans un milieu plus faible en acide, fournit au contraire des cellules d'autant plus actives à la prolification, que l'écart des richesses en acide HFl des deux milieux est plus considérable.

M. Sorel poursuit encore ces recherches, qui sont pour la distillerie d'un si haut intérêt, et nous ne pouvons que nous associer aux conclusions de la note qu'il

a présentée à l'Académie, savoir que : désormais, on peut rendre la distillation des matières amylacées aussi simple que celle des moûts sucrés, et supprimer les pertes de fabrication inhérentes aux anciens procédés.

(198) *Fermentation des matières amylacées.*

Dans les fermentations de moûts sucrés que nous avons passées en revue jusqu'à présent, nous n'avons pas eu à distinguer les phases de la fermentation. En effet, que l'on procède par coupage des cuves ou par pied de cuve, la fermentation s'établit pendant le coulage, et se poursuit jusqu'au moment où, tout le sucre étant transformé en alcool, la fermentation tombe presque brusquement.

Il n'en est pas de même dans la fermentation des matières amylacées, où l'on peut observer trois périodes bien distinctes :

1° Départ de la fermentation ;
2° Fermentation principale ou tumultueuse ;
3° Fermentation complémentaire.

La période de départ semble d'autant plus longue, que l'on travaille en moûts plus épais, et que la proportion du levain est plus faible. Il faut alors que la levure continue de prolifier dans le moût et absorbe l'air en dissolution dans ce dernier, avant de commencer à agir pour la transformation du sucre en alcool, et l'on reste quelques heures avant de voir le dégagement d'acide carbonique se manifester. Avec les moûts épais, il se forme tout d'abord un chapeau épais, formé de tout le son que contient le moût ; il faut plusieurs heures avant que le gaz soit en quantité suffisante pour commencer à crevasser le chapeau. Il ne faut pas oublier que le gaz carbonique est assez soluble, et que, dans tout début de fermentation l'inaction du ferment n'est qu'apparente ; on n'aperçoit les premiers symptômes de dégagement qu'une fois que le moût est saturé de gaz.

Après ce temps, on entre dans la période de fermentation principale ou tumultueuse. Le dégagement d'acide carbonique est violent, et, dans un bon travail, il part de toute la circonférence de la cuve un remous

régulier, rejetant vers le centre le moût entraîné ; la température tend à s'élever. Pendant cette période, la levure consomme avidement les sucres fermentescibles produits par la saccharification, en même temps que la *sucrase*, sécrétée par les cellules, transforme rapidement la maltose, puis l'isomaltose (**112**) en glucose, qui est plus fermentescible; parallèlement à cette inversion, l'*amylase*, ou plutôt l'ensemble des diastases comprises sous ce nom, continuent leur action sur la dextrine que la saccharification avait laissé subsister; elles la transforment en maltose et isomaltose, et même elles s'attaquent à l'amidon non transformé pour le rendre fermentescible.

Seulement, cette dernière transformation se fait plus lentement que la première; si nous nous rappelons que les diastases sont gênées dans leur action par l'excès même du produit transformé, nous pouvons en déduire que cette action de l'amylase doit être très faible au début de la fermentation, et ne peut reprendre toute son énergie que lorsque la fermentation a transformé l'excès de maltose existant au début.

Mais, à ce moment même, la levure ne trouvant plus de sucre à transformer ralentit forcément son action et ne peut continuer à fermenter qu'au fur et à mesure que l'amylase lui fournit un nouvel aliment. C'est cette troisième période de la réaction qui a reçu le nom de *fermentation complémentaire*, période qui n'existait pas dans la fermentation des liquides sucrés précédents et la différencie de la fermentation des matières amylacées.

L'existence de cette troisième période force le praticien à des précautions spéciales. Nous avons vu en effet (**111**) que, privée de sucre, la levure continue à fermenter aux dépens de son propre protoplasma, tuant ainsi une partie de ses propres cellules, ou tout au moins affaiblissant leur pouvoir ferment, les cellules vieillissent. C'est ce que nous avons appelé *autophagie* ou *involution* de la levure.

Il importe que ce phénomène ne se produise pas avant que la fermentation complémentaire soit terminée, sinon, faute de cellules bien vivantes, celle-ci se ferait incomplètement ou demanderait un temps très

long pendant lequel les moisissures et les ferments secondaires pourraient envahir les cuves.

Pour cela, il faut modérer la fermentation principale en abaissant sa température de telle sorte que le thermomètre n'atteigne 28 à 29° que vers le moment où, le dégagement d'acide carbonique diminuant, la fermentation complémentaire commence. A ce moment au contraire, cette température relativement élevée favorise l'action complémentaire des diastases. Ce résultat est obtenu soit en mettant en fermentation à basse température, soit mieux, en maintenant la température par une disposition spéciale de réfrigération des cuves, serpentin intérieur ou refroidissement extérieur.

En travaillant à moûts épais d'une densité de 1,075 à 1,08 et avec une température initiale de 15°, on compte environ 24 heures pour la durée de chacune des trois phases de la fermentation, soit 70 à 72 heures pour la durée de chaque cuve. En prenant au contraire une température initiale de 22° la durée de la première phase est réduite à 8 heures environ et la durée totale de l'opération est réduite à 55 heures. Avec des moûts plus clairs on peut la réduire à 48 heures, mais dans ces derniers cas, il faut, nous le répétons, avoir recours au refroidissement pour laisser lentement la température monter de 22 à 28°. Ceci abrège aussi la durée de la troisième période, les diastases agissant beaucoup plus énergiquement à la température moyenne de 25° qu'aux températures inférieures à 20°.

Pendant la fermentation principale, il se produit souvent à la surface des cuves de grandes quantités de mousse persistante, surtout dans les moûts de seigle, ou les moûts de pommes de terre incomplètement mûres. Ces mousses ne sont pas un indice de mauvaise fermentation, mais sont fort gênantes pour la propreté en ce qu'elles occasionnent des pertes par débordement. On cherche même à provoquer ce genre de fermentation dans la fabrication des levures pressées, ces mousses, au contact de l'air, étant très propices à la multiplication des cellules, mais à cause des raisons que nous avons indiquées, on cherche au contraire à l'éviter dans la distillerie ordinaire.

Les causes de cette fermentation mousseuse sont en-

core assez mal connues, car elle ne se produit pas d'une façon constante dans des moûts de même provenance travaillés avec le même malt et la même levure. Elles semblent devoir être attribuées à la présence de certaines substances visqueuses, soit des pectates comme dans la betterave, soit des matières albuminoïdes coagulables et peu assimilables comme dans le seigle et les pommes de terre récoltées avant maturité. Dans le cas de ces dernières, Delbruck a pu éviter la fermentation mousseuse en prolongeant la cuisson à la température de 3 atmosphères, c'est-à-dire à une demi-atmosphère plus haut que celle nécessitée pour le travail des pommes de terre normales. Il y a là certainement une transformation ou une coagulation de cette matière albumineuse mal définie, mais qui, ainsi transformée, ne produit plus d'écume.

Comme pour la fermentation des betteraves, le remède contre ces mousses est encore ici l'emploi des huiles végétales ou du dégras dont on devra employer le moins possible. L'emploi du pétrole doit également être rejeté, car s'il abat les mousses et encrasse moins les appareils, il infecte les alcools, du moins pour toutes les variétés commerciales de pétrole qu'il nous a été donné d'expérimenter. Si l'on pouvait se procurer une variété de pétrole ne communiquant pas ces goûts à l'alcool, problème qui ne nous semble nullement insoluble pour une usine de rectification de pétrole, l'emploi des huiles minérales serait au contraire à recommander car il en faut une proportion bien moindre que pour les huiles ou graisses d'origine végétale ou animale et elle ne s'attache pas aux divers organes de la colonne à distiller.

Nous ne parlerons pas ici de la fermentation en moûts très épais, qui n'a de raison d'être que dans les pays ou l'impôt est établi sur la capacité des cuves, et qui n'a pas de motif pour être employée en France. Cette fermentation nécessite en effet une agitation continuelle du moût, soit par agitateur mécanique, soit par insufflation d'air, afin de renouveler incessamment le contact des cellules de levure avec de nouvelles surfaces nutritives ; cette agitation entraîne avec elle une perte d'alcool fixée expérimentalement par Delbruck de

2 à 3 % du rendement alcoolique total. On voit donc combien on doit éviter ce mode de fermentation toutes les fois qu'on n'y est pas contraint par les lois fiscales.

Disons quelques mots de l'insufflation d'air dans les moûts en fermentation. Comme pour la fermentation des betteraves, autant cette insufflation d'air, soigneusement filtré et stérilisé, doit être recommandée pour la préparation des levains, autant il est dangereux de l'employer sans discernement dans la fermentation proprement dite. Outre la perte d'alcool, par entraînement signalée plus haut, il faut se souvenir que toute insufflation d'air entraîne une prolification de levure aux dépens des sucres, et par suite du rendement alcoolique. Il est beaucoup plus rationnel d'introduire de suite dans la cuve, sous forme de levain, la quantité de levure nécessaire à la fermentation, quantité qui tendra toujours à s'accroître par l'air en dissolution dans le moût lui-même.

Néanmoins, il sera bon d'avoir dans chaque cuve un petit barboteur d'air stérilisé pour pouvoir réveiller les cuves en cas d'accident, ou pour exciter le départ du pied de cuve, ou enfin, au cas où la température s'étant élevée un peu trop haut pendant la période de fermentation principale, la fermentation complémentaire s'établirait trop lentement. Cette installation est peu coûteuse et permet de parer à des mécomptes, mais il faut s'en servir avec intelligence. En fermentation normale, l'emploi des injections d'air entraîne à des pertes assez considérables, et surtout l'on ne sait plus exactement ce que l'on fait car la quantité que l'on injecte est difficile à apprécier. On ne peut que contrôler la perte lorsque le mal est sans remède.

On a aussi recommandé l'emploi des cuves fermées afin de maintenir la température, surtout en hiver. Il vaut mieux tenir la cuverie à température convenable car les cuves fermées sont toujours plus difficiles à nettoyer. L'emploi des cuves fermées peut cependant être recommandé pour certaines fabrications spéciales que nous verrons dans le prochain chapitre, mais on doit alors disposer les couvercles de telle façon qu'on puisse les lever entièrement pour procéder au lavage.

199) *Distillation des moûts.*

La distillation des matières amylacées ne présente pas de particularité spéciale, si ce n'est dans la construction des appareils en vue d'éviter les obstructions.

Les précautions à prendre sont très différentes selon qu'il s'agit de vins peu épais, épais ou très épais.

Pour les vins épais, c'est-à-dire dans les environs de 25 kilogrammes de grains à l'hectolitre on court beaucoup moins de risques d'obstructions dans la colonne qu'avec les moûts très épais, et surtout qu'avec les vins à 16 — 17 kilogrammes comme ceux qu'emploie la fabrication de levure pressée. Dans ce dernier cas en effet, le moût n'est pas *lié*, n'est pas homogène. Il décante facilement, et le son du malt s'accumule à la chute des trop-pleins, ou dans certains recoins des plateaux. Les appareils doivent être munis de regards ou trous-de-poing, faciles à ouvrir pour permettre un nettoyage sommaire sans nécessiter le démontage intégral de la colonne.

La meilleure précaution consiste à distiller de l'eau pendant un bon quart d'heure toutes les 24 heures. On profite du moment où l'on vient de terminer la distillation d'une cuve ; on lave à outrance la cuve et le mélangeur où puise la pompe à vin. On en profite aussi pour liquider tout ce qui est dans le chauffe-vin, et c'est fort utile, car sans cela il s'y accumule des dépôts qui pourrissent et donnent de mauvaises odeurs à l'alcool. Enfin l'eau détache dans les plateaux les sons et matières épaisses. Grâce à ce lavage périodique on peut conserver l'appareil en bon état de fonctionnement pendant plusieurs mois de suite.

Il va s'en dire que la construction des plateaux doit être simplifiée autant que possible ; on emploiera de préférence une seule calotte centrale.

On supprime le bac à vin. La pompe à vin refoule directement dans le chauffe-vin, et pour régler l'alimentation de la colonne deux systèmes sont usités. Le meilleur consiste à se servir d'une pompe à piston plongeur dont on peut faire varier la course par l'interposition d'une coulisse commandée par une vis munie d'un volant.

L'autre moyen paraît plus simple à première vue : la pompe est à course fixe; sur le tuyau de refoulement on met une tubulure avec un robinet, et à la suite un tuyau de *retour*. Le tuyau revient à la citerne d'aspiration tout près de la pompe. Plus on ouvre le robinet, moins il monte de vin jusqu'au chauffe-vin; on peut donc régler le robinet selon les besoins. Mais l'inconvénient sérieux du système, c'est que la lumière du robinet s'obstrue à chaque instant par les sons; on ne peut donc le régler à demeure.

Pour les moûts extrêmement épais, 30 kilogrammes de grains et au-dessus par hectolitre, on emploie les colonnes pleines, par exemple la colonne Ilgès, la colonne Siemens, l'appareil Collette ou celui d'Ostrowski.

Nous avons parlé plus haut (**146**) de ces sortes de colonnes, qui sont toutes dépensières en vapeur parce que la méthodicité est beaucoup moins nette que dans les types ordinaires. D'ailleurs on arrive très bien à distiller des moûts très épais avec la colonne à calotte, car en Belgique nous lui avons vu travailler sans inconvénient des moûts à 35 kilogrammes de grains à l'hectolitre; il est vrai d'ajouter que l'on a soin de maintenir ces moûts dans un état d'homogénéité parfaite.

Dans le double but de diminuer la hauteur des colonnes et surtout de faciliter le travail des moûts très épais, M. Perrier, dès 1875, imagina une colonne à distiller horizontale; idée reprise en 1881 par MM. Armengaud et Galland. Leur appareil se composait d'un cylindre horizontal divisé par des cloisons en un grand nombre de compartiments, et traversé suivant son axe par un arbre pouvant tourner facilement; cet arbre portait, à hauteur de chaque compartiment, un disque perforé ou une roue à palette. Ces disques et roues assuraient l'avancement du moût, en même temps que, par entraînement mécanique, ils présentaient ce liquide en couches minces à l'action des vapeurs, donnant ainsi une grande surface d'évaporation constamment renouvelée [1]. Ces essais avaient été abandonnés par suite de la mort de M. Galland.

---

(1) Voir *L'Alcool et le Sucre*, Oct. 1892, page 52, « Colonne à distiller horizontale », par *L. Prangey*.

Reprenant la même idée, M. Sorel a, il y a deux ans, construit un appareil à distiller horizontal représenté par la figure 75, et qui évidemment permet de travailler les moûts les plus épais que l'on puisse désirer faire. Le temps nous fixera sur la valeur exacte de cette intéressante tentative que nous tenions à signaler.

Lorsque l'on n'y est pas contraint par les nécessités fiscales, il vaut mieux

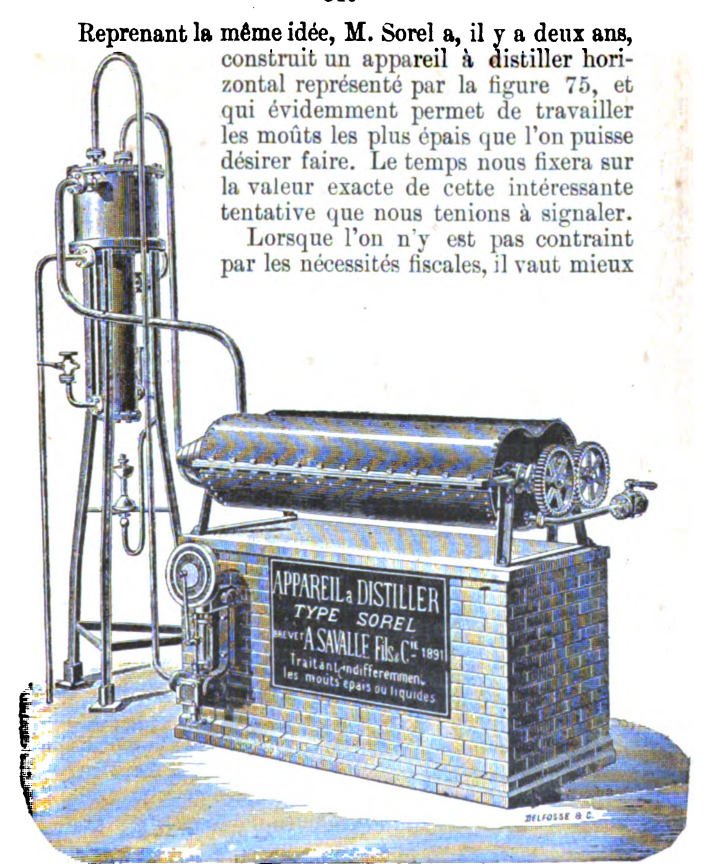


Fig. 75. — Appareil à distiller horizontal de M. Sorel.

ne pas dépasser 22 à 25 kilogrammes de grains à l'hectolitre ; cela n'empêchera pas d'obtenir des drêches très concentrées, en chauffant la colonne à multiple effet et d'une façon tout à fait économique, ainsi que M. Barbet l'a démontré dans l'*Alcool et le Sucre*, numéro de septembre 1892, page 45.

(**200**) *Contrôle du travail.*

Pour le contrôle du travail, on suit les procédés d'analyse que nous avons indiqués (**195**), il faut seulement avoir soin dans les dosages de sucre, d'amidon, etc., des moûts saccharifiés ou des résidus, de ramener ces divers produits à l'état de glucose par une longue ébullition en présence d'acide dilué, avant de procéder au titrage par liqueur cuivrique; sinon les multiples sucres et dextrines possédant tous un pouvoir réducteur différent, et leurs proportions étant essentiellement variables, on arriverait à des erreurs considérables. Autrement dit, on ne peut en pratique courante songer à autre chose qu'à un dosage en bloc des matières alcooligènes.

La teinture d'iode elle-même, préconisée comme indicateur qualitatif de l'amidon, ne devra être employée qu'avec réserve et seulement lorsque se produit la teinte bleue caractéristique indiquant que l'amidon n'est pas encore entièrement transformé. Mais dès que cette teinte bleue fait place à des teintes plus ou moins violacées ou rouges puis jaunes, la valeur de ces diverses teintes est si diversement appréciée par les auteurs les plus compétents qu'il ne faut plus y attacher aucune confiance, à moins de contrôler la valeur de ces teintes par des analyses directes plus complètes.

Les tableaux que nous avons donnés (**169**) pour le contrôle du travail et l'établissement des situations journalières s'applique encore aux matières amylacées pour tout ce qui concerne la cuverie, les appareils à distiller et le magasin à alcool; nous n'y reviendrons donc pas, nous bornant à donner ici un modèle d'inventaire hebdomadaire pour établir les rendements. La base essentielle de ces inventaires est la suivante : il faut numéroter à la file tous les cuiseurs qui se font. De cette façon on a un contrôle permanent et immédiat du total de ce que l'on a travaillé depuis l'époque de l'inventaire annuel. Supposons que le ou les cuiseurs reçoivent régulièrement une charge de 1000 kilogrammes. Quand on en sera au 875ᵉ cuiseur, on saura aussitôt qu'on a pris au magasin 875.000 kilogrammes de grains crus depuis le commencement de l'année

Modèle H.

INVENTAIRE N° 10

Commencé le .... dans la cuve de fermentation n° 5

		MAÏS	ORGE ou autres grains
N° du dernier Cuiseur sorti du magasin	N° *875*	»	»
N° de la dernière cuve mouilloire —	N° *95*	»	»
N° du dernier sac de farine de seigle	N° *438*	»	»
Grains en circulation: Grains en cuve mouilloire (*2 cuves*)		»	*3.000*
Grains en maltage		»	*4.200*
Moulin à malt, et lait de malt		»	*400*
Macérateur à levains		»	*200*
Levains en acidulation et refrigération	*7*	»	*1.400*
— en fermentation	*3*	»	*600*
Levures mères	*2*	»	*50*
Cuiseurs pleins à *1.000* kilogrammes	*1*	*1.000*	»
Macérateurs pleins à *1.100* kilog.	*1*	*1.000*	*100*
Total de la situation		*2.000*	*9.950*
(*102 — 95*) = *7* cuves mouilloires à *1500* k. l'une		»	*10.500*
(*523 — 438*) = *85* sacs de farine de seigle à *80* kilogrammes		»	*6.800*
(*959—875*) =*84* cuiseurs à *1000* k. l'un		*84.000*	»
Total		*86.000*	*27.250*
A déduire la situation suivante numéro *11*		*1.000*	*7,800*
Reste mis en fermentation pendant la semaine		*85.000*	*19.450*
Ensemble		*104.450*	

Nombre de cuves obtenues	*47*
Nombre d'hectolitres de moût	*4.230*
Poids de grains à l'hectolitre $\frac{104.450}{4.230}$ =	*24,71* kil.
Alcool à 100° obtenu à l'état de flegmes	*357,05* hect.
Rendement 0/0 kilogrammes de maïs / — 0/0 — d'autres grains	*34,2*
Proportion de grains malté	

OBSERVATIONS

commerciale. Il faut tenir la main à la régularité du numérotage.

Même nécessité pour les cuves mouilloires, servant à préparer le malt. Supposons 1.500 kilogrammes par opération.

Si l'on a l'habitude d'ajouter dans les levains de la farine de seigle, il faudra aussi numéroter les sacs : nous les supposerons à 80 kilogrammes l'un.

On numérote enfin les inventaires successifs.

Tous les lundis matins, par exemple, on procède à l'inventaire de fabrication.

Supposons que nous procédions à notre onzième inventaire ; à la cuverie, la cuve 2 est pleine, et l'on va bientôt couler dans la cuve n° 3 : ce sera notre ligne de départage, c'est-à-dire que nous attendrons le moment où la cuve 2 sera distillée pour faire l'inventaire des flegmes obtenus ; les flegmes, jusqu'à la cuve n° 2 incluse, appartiendront à la dixième semaine ou au dixième inventaire.

Nous avons mis des chiffres sur notre tableau d'inventaire pour mieux faire comprendre le mécanisme ; c'est le mercredi, par exemple, qu'on finira de distiller la cuve 2. Ce jour-là seulement, nous allons pouvoir boucler le rendement de la dixième semaine.

Pour la quantité des grains mis en travail, nos numérotages nous renseignent immédiatement :

A l'inventaire n° 11, on en est au 959e cuiseur.
A l'inventaire n° 10, on en était au 875e —

On a donc pris pendant la semaine 84 cuiseurs = 84.000 kilogrammes de maïs.

Même calcul pour les cuves mouilloires et le seigle.

A ces quantités, il faut ajouter les quantités de grains qui étaient en circulation, à la malterie, aux cuiseurs, etc., au commencement de la semaine précédente (inventaire n° 10), et retrancher celles qu'on vient de reconnaître à l'inventaire 11.

Avec ce système d'inventaires, on n'a jamais à faire d'évaluations sur les grains en cours de fermentations, et cela diminue beaucoup les chances d'erreurs.

Chacun, suivant son travail spécial, modifiera le libellé de ses imprimés, mais nous conseillons d'adop-

ter cette méthode, qui nous a toujours donné une comptabilité claire et sûre pour nos rendements hebdomadaires.

On y trouve encore l'avantage de faire, en quelques minutes, le rendement moyen total depuis le début de l'année ; on est donc perpétuellement au courant des résultats de sa fabrication.

(201) *Utilisation des résidus.*

Les résidus de la distillation des matières amylacées n'ont pas tous la même valeur, suivant la matière première employée, et aussi suivant le mode de travail adopté.

Dans le travail des grains par les acides, où l'emploi de l'acide chlorhydrique s'impose, la quantité de chlorure de calcium formée par la neutralisation de l'acide est telle que les résidus peuvent difficilement être utilisés pour l'alimentation du bétail. Quelques distillateurs ont fait la saturation avec du carbonate de soude ; il se formait ainsi du sel marin qui ne présente que des avantages pour la digestion. Mais les drêches fournies par ce travail, ont toujours une amertume spéciale provenant de l'action de l'acide sur les matières premières: les résidus du travail au Kruger ont en plus une odeur caractérisée de caramel, de sorte que les animaux ne l'aiment pas.

Les premiers, MM. Porion et Mehay ont trouvé une utilisation pratique en envoyant les vinasses au sortir des colonnes à distiller dans des filtre-presses pour en extraire les parties solides seules. Les tourteaux sortant du filtre-presse sont séchés dans des appareils à vapeur analogues aux chauffoirs d'huilerie, jusqu'à réduction de l'humidité à 10 à 12 %. La matière pulvérulente ainsi obtenue est tamisée, puis traitée par les procédés ordinaires d'huilerie, c'est-à-dire soit par une énergique pression hydraulique, soit par lévigation au sulfure de carbone ou à l'essence de pétrole, afin d'en extraire les huiles. Les tourteaux restant après ce traitement sont vendus comme engrais renfermant de 6 à 7 % d'azote et 1 à 1,2 d'acide phosphorique soluble. L'huile ne vaut guère la peine d'être extraite

que dans le travail du maïs qui, par 100 kilogrammes mis en œuvre, donne un résidu d'environ 10 à 12 kilogrammes de tourteaux engrais et 2,5 à 3 kilogrammes d'huile propre à la fabrication des savons et des dégras; on peut également extraire l'huile dans le travail du dari.

Depuis l'introduction des appareils sous-pression employant l'acide chlorhydrique, ou même par l'emploi de la soude à la neutralisation de l'acide sulfurique, MM. Porion et Mehay ont introduit un perfectionnement à leur procédé, permettant d'obtenir des tourteaux alimentaires pour le bétail. Le résidu des premiers filtre-presses est à nouveau délayé dans de l'eau, puis porté à l'ébullition pour faciliter la seconde filtration, et ainsi envoyé dans des filtre-presses à lavage pour éliminer l'excès des matières salines solubles. Les tourteaux ainsi obtenus sont traités, s'il y a lieu, comme précédemment pour l'extraction de l'huile, mais laissent des tourteaux alimentaires un peu plus riches en azote et assez convenables pour le bétail, principalement pour les porcs.

Dans le travail à moûts clairs du procédé F. Billet, l'opération est la même avec lavage et double filtration, à celà près que la filtration, au lieu d'être opérée sur les vinasses sortant de la colonne, est opérée sur les moûts saccharifiés avant leur envoi à la cuverie. La valeur alimentaire des tourteaux obtenus est analogue, plutôt un peu supérieure à celle de tourteaux de fermentation trouble.

Dans ces dernières années, MM. Boulet, Donnard et Contamine, ont perfectionné ces procédés d'extraction des huiles, surtout au point de vue économique. Les presses hydrauliques ne font pas une extraction suffisante de l'huile, et le sulfure de carbone présente trop de dangers d'incendie.

Les perfectionnements apportés par ces inventeurs portent sur deux points principaux :

1° Dessiccation des matières solides dans un appareil rotatif et dans le vide à basse température, ce qui a le double avantage de donner, non plus une poussière, mais une masse granulée spongieuse qui sera facilement imprégnée par le dissolvant; secondement, cette

basse température conserve à la matière toutes ses propriétés nutritives ;

2° Remplacement du sulfure de carbone par des essences de pétrole un peu moins dangereuses, et permettant, en outre, l'épuisement absolu des tourteaux traités, grâce à l'emploi d'un appareil fort ingénieux double ou triple, permettant un travail continu avec perte insignifiante de dissolvant.

Nous mentionnerons encore, comme procédés nouveaux ayant pour but de produire des drêches comestibles de bonne qualité, tout en maintenant la saccharification acide, les procédés de MM. Bondonneau et Foret, et de M. Barbet.

Dans le système Bondonneau et Foret, le maïs concassé est soumis à une véritable diffusion méthodique acide à la température de 100°. L'amidon se dissout, mi-partie en dextrine, mi-partie en glucose, et diffuse. On soutire donc un jus mixte, dont on complète la saccharification dans un Kruger. Il reste dans les grands diffuseurs (qui sont en bois à cause de l'acide) une drêche qui a conservé la forme et la couleur du grain cru. L'épuisement méthodique a enlevé à la fois les sucres solubles et l'acide : aussi, cette nourriture est-elle parfaitement saine, et les animaux en sont très friands ; le grain a conservé la majeure partie de son azote, de ses substances grasses et gommeuses. Aussi, le jus extrait donne-t-il de très jolies fermentations, d'une odeur fine et agréable. La distillation à moûts clairs présente aussi de grands avantages.

M. Barbet a réalisé à Agde une installation qui participe des mêmes avantages, et qui en diffère par les points suivants. Le maïs concassé est jeté dans de grandes cuves en bois munies d'agitateurs, identiques aux cuiseurs à air libre. On n'emploie que 5 % d'acide chlorhydrique, et l'on ne fait bouillir que pendant une heure. Ce temps suffit pour solubiliser totalement l'amidon. Le moût est alors tamisé dans une batterie de tamis successifs du système Lespermont ; entre chaque tamis, la drêche égouttée est brasée avec le liquide provenant d'un tamisage ultérieur, et reprise par une danaïde. Il en résulte un épuisement méthodique que l'on pousse jusqu'à ce que le papier de

tournesol n'indique plus d'acide. On est alors assuré qu'il ne reste plus de matière alcooligène. La drêche, mélangée une dernière fois avec de l'eau chaude pure, est envoyée par monte-jus aux filtre-presses. Quand l'épuisement est complet, la filtration se fait avec une telle rapidité, que deux filtre-presses suffisent pour 20.000 kilogrammes de grains par jour. On obtient une drêche beaucoup plus sèche que dans le procédé précédent. On ne retire que 35 k. environ de drêche pressée pour 100 kilogrammes de maïs, et cette drêche telle qu'elle contient 3 % d'azote. En la séchant au chauffoir mécanique, on a un aliment qui contient 7 % d'azote, et dont la conservation est indéfinie ; son odeur est très agréable et rappelle celle de la croûte de pain.

Nous ne nous étendons pas davantage sur ces procédés, parce que la distillation du maïs en France est devenue à peu près impossible depuis les droits de douane votés en 1890. Le bénéfice provenant de l'appoint des drêches comestibles ne suffit pas à rendre cette industrie rémunératrice. Il faut pouvoir y adjoindre la fabrication de levure pressée, ou bien il faut avoir l'écoulement des drêches à l'état liquide, telles qu'elles sortent de la colonne, et, pour cela, l'emploi du malt est indispensable. C'est avec le procédé par le malt que l'on obtient le maximum d'utilisation pratique des matières nutritives contenues dans les grains ; c'est donc, au point de vue agricole, le procédé qui doit l'emporter sur tous les autres.

Pour donner une idée de la valeur des résidus des distilleries agricoles comparée à la valeur de l'alcool lui-même, nous ne saurions mieux faire que d'emprunter les chiffres suivants au rapport présenté par M. Durin au Congrès international de Paris en 1889. On y trouve résumées les valeurs comparatives des divers résidus par hectolitre d'alcool, à pouvoir nutritif égal avec du foin à 10 francs les 100 kilogrammes :

Drêches de maïs	24$^{fr.}$12
» de seigle	23,94
» de topinambours	15,10
Pulpes de betterave (macération à la vinasse) .	14,95

Drèches de pommes de terre	14 , 10
Pulpes de presses continues (macérat. à la vinasse)	12 , 40
» de diffusion à l'eau.	10 , 25
» de presses continues travail ordinaire .	9 , 64

Cette valeur calculée n'est pas forcément atteinte à la ferme, loin de là, et c'est là l'un des bénéfices de la culture ; mais ces chiffres indiquent la dépense qu'aurait à supporter le cultivateur qui, privé de ces diverses drêches, voudrait les remplacer par des rations de fourrage à 10 francs les 100 kilogrammes à valeur nutritive égale pour les animaux. On voit également qu'aux cours actuels de l'alcool et des matières premières, le distillateur ne peut songer à réaliser un bénéfice s'il ne fait entrer en ligne de compte la valeur de ces résidus dans le travail usuel de la distillerie agricole. On ne transforme en général en alcool, que 80 à 82 % de l'amidon contenu dans les matières premières ; 8 à 10 % sont perdus à divers états ; en somme, on peut compter que 90 % de l'amidon a disparu et connaissant la composition des matières premières, il suffit d'en déduire la perte de 90 % d'amidon pour avoir la composition et, par suite, la valeur alimentaire des drêches en matières azotées, matières grasses, hydrocarbonées et minérales.

On a cependant coutume d'admettre une perte de matières azotées de 30 % pour les drêches de pommes de terre et de 10 % pour les drêches de grains sur la matière azotée primitive, perte ou atténuation au-dessus de la vérité, car l'azote consommé par la levure reste avec les levures dans les drêches, au moins pour la plus grande partie.

Pour fixer les prix des divers aliments, suivant la base ci-dessus du foin à 10 francs les 100 kilogrammes, on a coutume d'appliquer aux composants solides les valeurs suivantes déduites des travaux de Wolff et de Vivien :

0 fr. 60	par kilogramme de matières	azotées	albuminoïdes
» 10	»	«	hydrocarbonées
» 10	»	»	grasses
» 05	»	de sels.	

Ces chiffres permettront de ramener la valeur des

drêches et résidus à la valeur conventionnelle le plus généralement adoptée.

Ceci posé, nous dirons qu'en moyenne, les drêches de pommes de terre renferment 94 % d'eau et 6 % de matière sèche dont 1,2 à 1,25 de matières azotées ; les drêches du maïs 91,64 % d'eau et 8,36 de matières sèches dont 2,3 de matières azotées ; les drêches de seigle 92,43 d'eau et 7,57 % de matière sèche dont 2,3 % de matière azotée.

On voit donc que ces drêches forment un aliment très aqueux et dont la proportion d'eau diminue considérablement la valeur nutritive ; aussi, deux systèmes sont-ils en présence pour fournir au bétail un aliment plus profitable ; 1° la concentration des drêches, soit à l'état pâteux, soit à l'état sec : 2° le système allemand, qui consiste à faire consommer les drêches chaudes en y mêlant d'autres aliments secs qui complètent la ration de l'animal.

Le premier système offre l'avantage de rendre les drêches transportables, de pouvoir les donner froides au bétail, voire même de les conserver indéfiniment en poussant la dessiccation assez loin ; mais, par contre, il nécessite, pour cette concentration même, une dépense complémentaire de combustible. Nous avons vu (**199**), que la concentration peut être obtenue économiquement. Quant à la dessiccation totale, elle peut s'obtenir par les appareils de Venuleth et Ellenberger, ou bien par l'appareil de MM. Donard et Contamine, dont nous avons parlé plus haut.

Le système allemand a l'avantage d'éviter les frais de concentration, mais, par contre, il nécessite, près de la distillerie, de grandes étables où tout le bétail consomme sur place les drêches tièdes, aussi chaudes que possible.

On voit donc que le second système est plus avantageux pour les petites installations, ou tout au moins pour les installations sur une ferme unique, tandis que le premier devra être préféré, au moins pour une partie des drêches, lorsque la distillerie travaille les produits de plusieurs cultivateurs.

Maercker s'est particulièrement occupé de cette question de la nourriture du bétail par les drêches de

matières amylacées, en particulier par les drêches de pommes de terre, et avec une compétence qui n'a jamais été surpassée. Nous ne possédons d'ailleurs en France que fort peu d'installations travaillant la pomme de terre seule, alors que la distillation de ce tubercule est l'industrie agricole allemande par excellence. Nous emprunterons donc à Maercker les principales conclusions de son travail.

La matière sèche des drêches de pommes de terre contient environ 25 % de son poids de matières azotées, 50 % de matières hydrocarbonacées et grasses, le reste de matières minérales, comprenant surtout de la potasse et de l'acide phosphorique ; c'est-à-dire que la proportion des différents composants correspond à celle des meilleurs aliments concentrés. Seule la chaux manque un peu dans les cendres. Maercker conseille d'ajouter cette chaux sous forme de 100 grammes de craie dans les drêches, par tête de bétail et par jour ; cette craie a en outre l'avantage de neutraliser l'excès d'acidité des drêches qui, à la longue, occasionnerait une maladie spéciale dans le bétail.

Les drêches, nous l'avons dit, doivent être données aux animaux aussi chaudes que ceux-ci peuvent les absorber, et, pour cela, le réservoir des drêches doit être muni d'un serpentin de chauffage permettant d'en régler la température en cas de refroidissement. Cette coutume est basée sur deux raisons :

1° Un aliment aussi aqueux que la drêche, nécessite de l'animal une dépense de chaleur assez considérable pour évaporer l'excès d'eau, et les calories apportées par la drêche compensent en partie cette perte de chaleur ;

2° La température, supérieure à 38° C., a l'avantage d'empêcher le développement des moisissures qui ne tarderaient pas à se multiplier dans des drêches froides. Cette action de la chaleur contre les moisissures se fait même sentir lorsqu'on échaude avec les drêches un fourrage, un peu échauffé dans les greniers, et qui aurait un léger goût de moisi. Le fourrage ainsi mélangé à la drêche chaude, est mangé volontiers par le bétail qui sans cela l'aurait refusé.

La partie la plus intéressante du travail de Maercker

est l'étude des limites de quantité de drêches à faire absorber aux différents animaux, mais cette étude est plus du domaine de la culture que du domaine de la distillerie ; nous y renvoyons donc le lecteur (1), nous bornant à citer les conclusions du savant professeur.

On peut donner des drêches aux animaux suivants :

1° Aux vaches laitières ;
2° Au bétail à l'engrais ;
3° Peu aux bœufs de labour ;
4° Très peu aux chevaux ;
5° Aux moutons, de 1 à 2 litres par tête.

Voici, en outre, quelques rations préconisées par l'auteur :

1° RATION DE DRÊCHES FAIBLE

Base de l'alimentation

Paille et balles	4 kil.
Foin	2 »
Drêches liquides	40 lit.

Complément

Pour les vaches laitières :

a	Son	3 kil.
	Tourteaux	3/4 »
b	Tourteaux	2 »
	Maïs concassé	2 »
c	Orge	3 »
	Tourteaux	3 »

Pour les bœufs à l'engrais :

a	Son	3 kil.
	Tourteaux	2 »
b	Tourteaux	2 1/2 k.
	Maïs concassé	2 1/2 k.
c	Orge	3 kil.
	Tourteaux	3 »

2° RATION DE DRÊCHES PLUS FORTE

Base de l'alimentation

Paille et balles	4 kil.
Foin	3 »
Drêches liquide	60 lit.

(1) *Zeitschr. fur Spiritusind. Ergänzungsheft* 1889 et *Journal de la Distillerie Française* 1889, p. 226 et 273.

Complément

Pour les vaches laitières :

a		Son	3 kil.
b	{	Maïs concassé	1 1/2 k.
	{	Tourteaux	1 1/2 k.
c	{	Orge concassé	2 kil.
	{	Tourteaux	1 »

Pour les bœufs à l'engrais :

a	{	Son	2 kil.
	{	Tourteaux	2 »
b	{	Tourteaux	2 »
	{	Maïs concassé	2 »
c	{	Tourteaux	2 »
	{	Orge	2 »

Il y a, on le voit, dans ces rations une assez grande variété de composition pour que chacun choisisse suivant ses ressources locales. On peut d'ailleurs remplacer le foin par du trèfle ou autre fourrage artificiel, voire même par de la paille, mais alors en forçant un peu la dose d'aliment complémentaire.

Ces rations sont en général données aux animaux en trois repas par jour : à six heures du matin, à midi et à six heures du soir, chacun de ces repas comprenant le tiers de la ration ci-dessus.

Pour les vaches laitières, les tourteaux huileux sont peu recommandables, les huiles et graisses qu'ils renferment rendant difficile la séparation du beurre. Les tourteaux de palme seuls font exception, et augmentent le rendement en lait et en beurre. Pour le bétail à l'engrais, ces tourteaux huileux sont, au contraire, très recommandables, et forment un utile complément de l'alimentation par les drêches.

Telles sont les conclusions de Maercker, qui a en outre prouvé que l'ancienne pratique allemande, où l'on poussait la ration journalière jusqu'à 100 litres de drêche par tête de gros bétail, était en complète contradiction avec les principes de l'alimentation rationnelle.

CHAPITRE VII

Distillations spéciales.

---

(202) *Fabrication de la levure pressée.*

Les levures pressées se vendant surtout en boulangerie, on a adopté pour cette fabrication les grains comme matière première, à l'exclusion de toutes les autres substances sucrées ou amylacées ; et parmi ces grains, viennent en premier lieu l'orge maltée et le seigle, puis le maïs et le blé, enfin parfois le sarrazin.

Si l'on considère d'autre part que, pendant la fermentation des matières amylacées, telle que nous l'avons exposée au chapitre précédent, il se produit toujours plus de levure que n'en exige la fermentation des moûts, qu'il s'agisse du travail des grains par les acides ou par le malt, on conclura *à priori* que la préparation des moûts, en vue d'obtenir la levure, doit être sensiblement la même.

Il n'en est rien cependant, à cause d'un point spécial : *la nécessité de récolter la levure aussi pure que possible, levure qui doit pouvoir se laver et se presser facilement*. Or tous les moûts ne se prêtent pas à cette récolte, et pour atteindre ce but le fabricant de levure est obligé de sacrifier, dans une certaine mesure, la question saccharification, c'est-à-dire le rendement en alcool qui, dans les autres cas, est le premier souci du distillateur. La levure a en effet une assez grande valeur commerciale, et le fabricant doit faire tous ses efforts pour en récolter le plus possible.

Les procédés, presque encore uniquement employés à l'heure actuelle, sont les anciens procédés de travail à la cuve matière, procédés qui ont subi de nombreuses améliorations en brasserie, mais qui sont abandonnés depuis longtemps en distillerie, comme demandant trop de main-d'œuvre et donnant de mauvais rendements.

La préparation des moûts comprend quatre opérations ou phases distinctes :

1° Nettoyage et mouture des grains et du malt ;
2° Empâtage ;
3° Formation de l'empois ;
4° Saccharification proprement dite.

La mouture des grains ne doit pas être poussée trop loin, les farines moyennes donnant de meilleurs résultats. Cette mouture se fait en général aujourd'hui par des moulins à cylindres. La fig. 76 représente la coupe d'un des modèles les plus employés. Les 4 cylindres sont en fonte trempée et munis de systèmes de réglage qui en maintiennent l'écartement constant. La surface des cylindres possède de fines cannelures héliçoïdales.

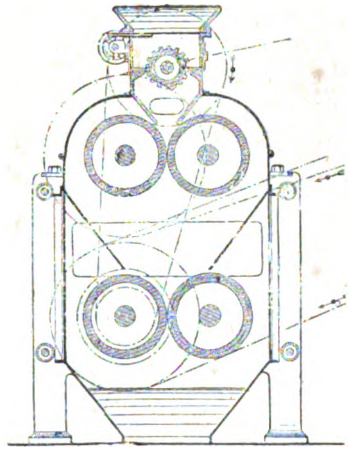


Fig. 76. — Moulin à quatre cylindres.

La farine, ainsi obtenue, est parfois blutée pour enlever les plus gros sons, ce qui n'est pas toujours indispensable. Un point plus important, est de préparer la farine des grains, et surtout du seigle, assez longtemps à l'avance. Sans cette précaution, la farine s'empâte mal, tend à former des grumeaux.

Le malt le plus généralement employé est le malt touraillé. On reproche au malt vert à la fois de donner des levains trop clairs, et d'apporter avec lui des germes étrangers, tandis que le malt sec a été stérilisé par le touraillage ; enfin on lui reproche encore, et c'est une objection très sérieuse dans cette industrie très spéciale, de ne pouvoir se préparer longtemps d'avance, alors que les commandes de levures se font au jour le jour et pour certaines usines de façon assez capricieuse, en sorte que la production journalière y varie dans d'assez grandes limites.

Les proportions des différents grains choisis sont très variables suivant les usines. Le seigle est le plus généralement employé, comme riche en azote et devant fournir à la levure les matières albumineuses nécessaires à sa nutrition. Le maïs au contraire est plus riche en amidon et a l'avantage de laisser déposer les sons qui ne remontent pas à la surface, ce qui facilite la récolte de la levure. Les mélanges le plus souvent adoptés sont des mélanges de ces deux grains. Quant à l'orge elle intervient par le maltage.

Nous prendrons comme exemple le mélange suivant (1) :

Malt d'orge sec	800 kil.
Maïs ordinaire	1.080 »
Seigle.	1.100 »

Les opérations d'empâtage à la main sont aujourd'hui à peu près abandonnés sauf pour la préparation des levains, et nous en parlerons à ce sujet. Le plus ordinairement, l'empâtage, la formation de l'empois et la saccharification se font dans des macérateurs, ou cuves-matières à agitateurs, imaginés par Payen. La figure 77 montre une disposition très employée. Les dimensions de ces macérateurs sont assez variables suivant le travail et peuvent atteindre jusqu'à 150 hectolitres. En Angleterre on en fait de 500 hectolitres et davantage.

Pour le travail du mélange que nous avons pris pour exemple, il faut au moins 3 de ces appareils, dont 2 placés de façon à pouvoir se vider dans le plus grand.

Dans l'un des macérateurs supérieurs, on introduit 15 hectolitres d'eau froide, puis les 800 kilogrammes de farine de malt aussi homogène que possible. Si le macérateur est assez grand on amène le volume à 35-36 hectolitres, sinon on fait cette addition d'eau au macérateur inférieur en même temps qu'on y verse le lait de malt. On brasse dans ce dernier macérateur et on y introduit les 1.100 kilogrammes de farine de seigle.

Pendant ce temps, l'autre macérateur supérieur re-

(1) Voir dans l'*Alcool et le Sucre* les articles sur la levure pressée, numéros de septembre, octobre, novembre et décembre 1893. Nous leur empruntons bon nombre des documents qui vont suivre.

çoit 40 hectolitres d'eau, puis on y introduit les 1.080 kilogrammes de farine de maïs, et par un barboteur de vapeur on élève la température à 90-92° température que l'on maintient pendant environ trois quarts d'heure, en continuant à brasser mécaniquement.

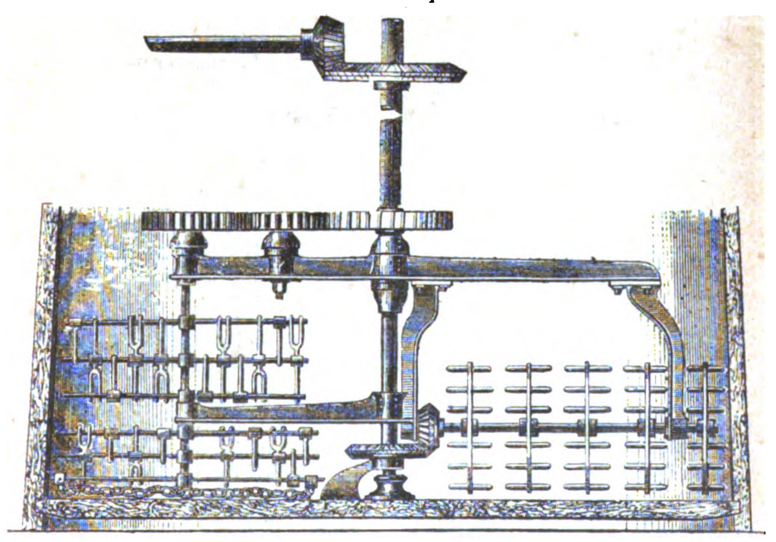


Fig. 77. — Macérateur ou cuve-matière.

Après ce temps le maïs est cuit, et son amidon à peu près formé en empois. On verse alors ce maïs dans la cuve inférieure dont il élève la température qui doit atteindre 59°, mais ne pas dépasser 60° sous peine de coaguler les matières albumineuses du seigle; pour cela on s'aide au besoin d'un barbotage de vapeur, de façon à maintenir cette température de 59° pendant environ 2 heures. Le couvercle du macérateur est fermé durant cette opération, pendant laquelle l'agitateur tourne, mais en laissant des alternances de repos. Cette durée et cette température sont nécessaires, et pour la saccharification, et pour la formation de l'empois du seigle. Le volume de moût produit est de 115 à 120 hectolitres.

Le moût est alors pris par des pompes puissantes qui, à travers des réfrigérants tubulaires, l'envoient aux cuves de fermentation à une température de 38° environ que l'on règle d'ailleurs suivant les besoins. Le moût ainsi obtenu possède en effet une densité de 1,065 à 1,080 alors qu'on ne met en fermentation qu'à une densité de 1,035 à 1,040 par addition d'eau froide et de vinasse filtrée; on règlera donc la température de façon que le mélange, au moment de l'encuvage, atteigne environ 22° en été et 25° en hiver.

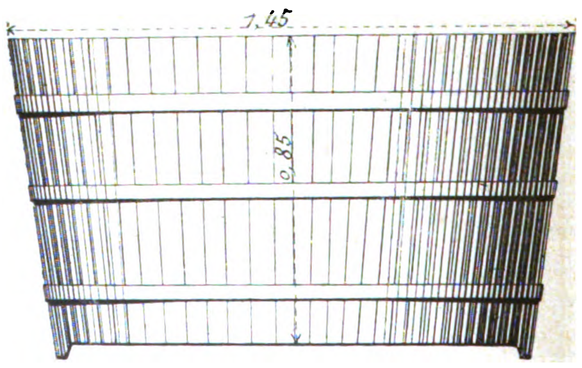


Fig. 78. — Cuve à levains.

L'addition de vinasse clarifiée et stérilisée ne se fait qu'en dernier lieu ; elle a surtout pour but de fournir au moût l'acidité nécessaire pour sauvegarder sa pureté, acidité qui doit rester entre les limites de 1 gr., 8 à 2 gr., 5 comptés en acide sulfurique, et qui est due principalement à l'acide lactique ; on complète d'ailleurs cette acidité, si elle est insuffisante, par addition d'un peu d'acide sulfurique.

Le levain destiné à la mise en fermentation, est préparé suivant les principes de la méthode allemande que nous avons exposés (**196**), mais ici on opère à température plus haute et à densité plus élevée.

Pour les quantités adoptées dans l'exemple choisi, le levain sera composé de :

Farine de seigle	290 kil.
Farine de malt d'orge.	230 »

En fabrication des levures, cet empâtage des levains se faisant le plus souvent à la main, on ne peut dépasser pour les cuves d'empâtage les dimensions de 1m,45 de diamètre sur 0m,85 de hauteur, afin de permettre aux ouvriers le brassage à la pelle dans toutes les parties de la cuve ; il nous faudra donc 2 de ces cuves pour empâter le levain cidessus.

Cet empâtage se fait en brassant la masse à l'aide de pelles en bois, évidées en forme de grille, pour bien diviser la masse et briser les grumeaux. Il faut obtenir un mélange bien homogène, et par un tour de main faire pénétrer de l'air dans la masse. Pour faciliter l'opération le mélange ne se fait pas d'un seul coup, mais par additions successives. Pour une des cuves cidessus, voici les quantités à introduire à chaque fois :

1° Eau 80 litres.	Seigle.	37	kil.
	Malt .	16	»
2° Eau 80 litres.	Seigle.	36	»
3° Eau 80 litres.	Seigle.	36	»
	Malt .	16	»
4° Eau 60 litres.	Seigle.	36	«
	Malt .	32	»
5° Eau 40 litres.	Malt .	50	»

Au total : Eau = 340 litres, seigle, 145 kilogrammes, malt 115 kilogrammes; l'on prend l'eau à environ 66° suivant la saison mais en sorte que la température du mélange atteigne exactement 63°.

Fig. 79.
Pelle à levains

Le tout étant bien mélangé, la cuve est couverte et abandonnée à elle-même pendant 2 heures, pour laisser à la saccharification le temps de s'opérer. Après deux heures on découvre la cuve. La masse est recouverte d'une croûte grisâtre qui se déchire par refroidissement et sous laquelle la masse doit avoir subi un commencement de liquéfaction, n'être plus compacte.

Le levain est alors abandonné à lui-même dans la

cuve ouverte pendant environ 60 heures, et pendant ce repos se déclare la fermentation lactique ; la température baisse pendant ce temps à 40-45°, suivant la saison, et l'acidité atteint 4 grammes à 5 grammes exprimés en SO^4H^2 par litre.

Ce levain est jusqu'à présent très concentré, ce qui a pour but de lui permettre de conserver mieux sa température et de l'empêcher de fermenter spontanément, mais pour le mettre en levure on l'étend de 60 à 80 litres d'eau froide ce qui commence son refroidissement. On complète le refroidissement à la température de 20° en été, 22° en hiver, soit par des pains de glace, soit par un serpentin mobile à circulation d'eau froide, et l'on met en levure à l'aide de levure pressée, dont le poids est 3,5 % du poids du grain employé.

Cette levure-mère pressée, est dans les bonnes installations préparée chaque jour par une macération spéciale devant fournir la levure des levains, levure lavée à part et pressée dans un filtre-presse spécial. Le lavage fait soigneusement, écartant de la levure la plus grande partie des bactéries, on a ainsi beaucoup moins de chances de contamination que par l'emploi des levures-mères qui, cependant, sont aussi employées.

Une demi-heure après, on voit apparaître les premières bulles d'acide carbonique formant une légère écume, la température monte lentement et, après sept heures environ, atteint 27°. En même temps que la fermentation devient plus active, la température tend à monter et à atteindre 30° et plus, la fermentation est tumultueuse, puis retombe un peu, et, après 12 heures, on distingue à la surface des places blanches formées par des amas de levure, le levain est retombé d'environ 4 centimètres sur les bords de la cuve, et au saccharomètre la densité est moitié du degré initial. Le levain est mûr et bon à être employé.

En résumé, la préparation d'un levain demande :

Empâtage.	1 heure
Saccharification	2 »
Repos lactique	56 »
Mise en levure	1 »
Fermentation.	12 »
Total.	72 heures ou 3 jours

sur lesquelles on devra compter pour régler le travail. Le transport du levain, de la cuve à levain à la cuverie, se fait à l'aide de baquets représentés par la figure 80, et portés par deux hommes.

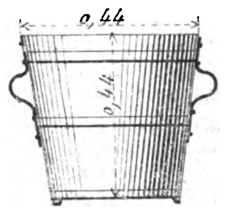


Fig. 80.
Baquet à levains.

Pour la mise en fermentation des moûts, on commence par faire un pied de cuve. Pour cela le levain est introduit dans la cuve environ 1 heure avant le chargement de celle-ci, et additionné, pour un cuvier de levain comme ci-dessus, de 6 hectolitres de moût épais à 38° saccharifié, la masse entre en fermentation tumultueuse. On y verse alors le reste du moût à 38°, puis l'eau froide, puis les clairs de vinasse. Le volume de chacun de ces derniers liquides est à peu près égal, et leur ensemble égal au volume du moût. Bien observer l'ordre du chargement : moût, eau froide puis vinasse; et régler les températures de chaque liquide pour que la température initiale de la cuve soit, rappelons le, 22° en été et 25° en hiver. Sinon on s'exposerait à des mécomptes pour la récolte. On remue soigneusement.

Au début on voit sur la cuve une légère mousse blanche ; après une heure le son est monté et forme à la surface une couche de 6 à 7 centimètres d'épaisseur, mais laissant dégager l'acide carbonique de place en place. Après 3 heures, le chapeau de son se fendille, le gonflement commence, le moût apparaît au-dessus du son qui est débordé, et après 7 à 8 heures, l'écume devient plus persistante, gagne les bords de la cuve, les bulles se chargent de levure. Enfin après 10 à 12 heures la *levure est mûre*, bonne à écumer, ce que l'on reconnaît *lorsqu'elle recommence à descendre*.

On écume alors avec de larges cuillers en fer blanc, plates et arrondies à l'extrémité, de façon à enlever la levure avec le moins de moût possible, et cet écumage dure de 6 à 10 heures, tant qu'il vient de nouvelles bulles de levure. Il faut bien veiller à ce point de maturité de la levure, car si l'on écume trop tôt la levure

se presse mal, si l'on attend trop longtemps la levure retombe et est perdue pour le fabricant.

Après ce temps d'écumage la cuve est laissée tranquille, la fermentation secondaire y continue pendant 14 à 20 heures, puis tombe et la cuve est bonne à distiller ce qui se fait comme précédemment.

La levure écumée est versée dans une rigole en cuivre étamée, où un filet d'eau froide la conduit dans un réservoir. De là, la levure est reprise et envoyée dans les cuves à décanter après avoir passé dans deux tamis, le premier muni de toile de cuivre n° 120 et le second de toile de soie fine, qui laissent passer la levure en retenant les sons et écorces de grains. Les tamis sont légèrement inclinés, on emploie des tamis à rotation ou bien des tamis plats auxquels on imprime de légères secousses ; dans tous les cas des tuyaux percés de petits trous donnent une pluie d'eau qui facilite le lavage.

Les cuves à décanter où s'opère le lavage de la levure sont des cuves rectangulaires d'environ 1 mètre de hauteur sur 2 mètres carrés, et munies d'une glace sur une de leur face jusqu'au milieu de la hauteur pour surveiller la décantation. L'eau de lavage, employée aux tamis et ajoutée dans la cuve, doit être très froide pour arrêter le plus promptement possible le pouvoir fermentatif des levures et empêcher leur involution.

La température de 9° à 12° semble la plus convenable, car une eau plus froide devient trop dense et gêne pour la décantation.

Après deux à trois heures de dépôt dans ces cuves, il se forme nettement 3 couches :

1° A la partie supérieure de l'eau tenant en dissolution l'alcool, et que surmonte une petite quantité de matières grasses.

2° La couche intermédiaire, formée de cellules non mûres et de faux ferments. Ce que l'on appelle *levure grise*.

3° La couche inférieure nettement séparée, et qui n'est autre que la bonne levure en suspension dans l'eau.

Les deux premières couches sont décantées avec soin et envoyées dans une citerne spéciale d'où on les reprendra pour en tirer l'alcool. La colonne à adopter est une colonne à haut degré, à récupérateur.

La couche inférieure est recueillie dans des bacs en cuivre d'où on la prend, par une pompe spéciale, pour l'envoyer aux filtres-presses. Quelquefois, on procède préalablement à un second lavage suivi de décantation, mais cela peut être dangereux, ce long séjour dans l'eau favorisant l'autophagie de la levure. Avec de l'eau assez froide, un bon lavage suffit.

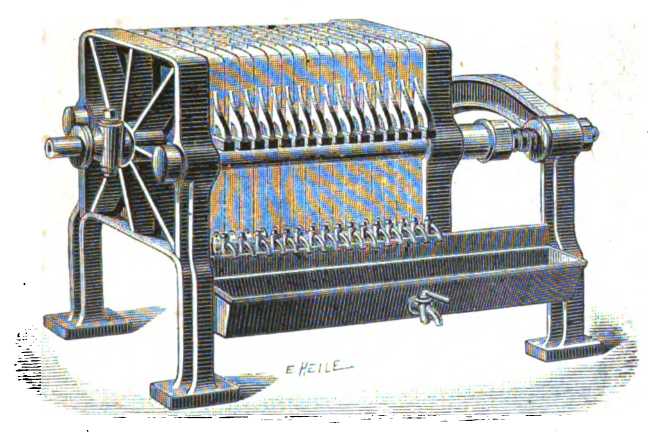


Fig. 81. — Filtre-presse.

Les filtres-presses, dont la figure 81 montre la disposition, sont analogues à ceux employés en sucrerie pour le filtrage des écumes, mais n'ont pas besoin de dispositifs pour le lavage des tourteaux à l'eau.

La pompe, qui envoie la levure au filtre, est également analogue aux pompes de presses à écumes, c'est-à-dire marchant automatiquement par un régulateur de pression de la conduite, et s'arrêtant dès que la pression aux filtres-presses atteint 7 à 8 kilogrammes.

La durée de la pression varie avec la qualité de la levure ; lorsque la levure est grasse, cette filtration est difficile, de même avec une levure imparfaitement mûre. Pour faciliter cette opération, on ajoute souvent à la levure, avant de l'envoyer au filtre-presse, une certaine quantité d'amidon, variant de 10 à 25 % du poids de la levure, et jusqu'à 40 % d'un mélange d'amidon et de fécule. Cet amidon est employé comme absorbant de

l'eau ; il maintient la levure sèche et facilite sa conservation. Ce n'est donc pas, à proprement parler, une fraude lorsque cette teneur en amidon est déclarée.

La levure doit être d'un blanc jaunâtre et non grise, se rompre sans s'écraser sous les doigts, et assez douce au goût. Au sortir du filtre-presse, les tourteaux sont mis en sacs, pressés et pesés immédiatement ; ou mis en pains de 1/2 et 1 kilogramme. Pour cette mise en pains, on se sert d'une boudineuse à vis qui fait sortir la levure sous forme de prismes ou briquettes, qu'on coupe à longueur voulue. On empaquète, d'abord dans un papier parcheminé, ensuite dans un papier d'étain, enfin, dans un papier d'emballage ou un petit carton. S'il faut attendre avant l'expédition, on conservera en glacière.

Telles sont, succinctement exposées, les diverses opérations de la fabrication des levures. On voit par là que ce que nous avons dit (**196**) de l'empirisme des méthodes allemandes, de préparation des levains, s'applique, et à plus forte raison, aux levures pressées. En outre, dans cette dernière fabrication, chacun garde soigneusement secrets ses procédés de fabrication, tours de mains, rendements, etc. ; on comprendra donc que nous n'ayons pu qu'indiquer les grandes lignes du procédé le plus généralement employé, et qui, malgré son empirisme, est encore le seul ayant donné des résultats pratiques en France.

Il n'en serait pas moins désirable de voir cette industrie entrer dans une voie plus scientifique. Les rendements, en effet, sont très variables d'une usine à l'autre, souvent même d'une opération à l'autre dans une même usine, et fort éloignés des rendements théoriques en levure déduits des expériences de Pasteur (**111**) qui montrent que ce rendement pourrait être considérablement augmenté ; en même temps, la production de l'alcool diminuerait il est vrai, mais la question est de savoir si l'on veut produire de l'alcool ou de la levure, et non, comme en l'état actuel, l'un et l'autre en proportions variables.

L'une des raisons d'être des pratiques opératoires qui précèdent, est la nécessité d'avoir des moûts permettant aux levures de monter à la surface des cuves.

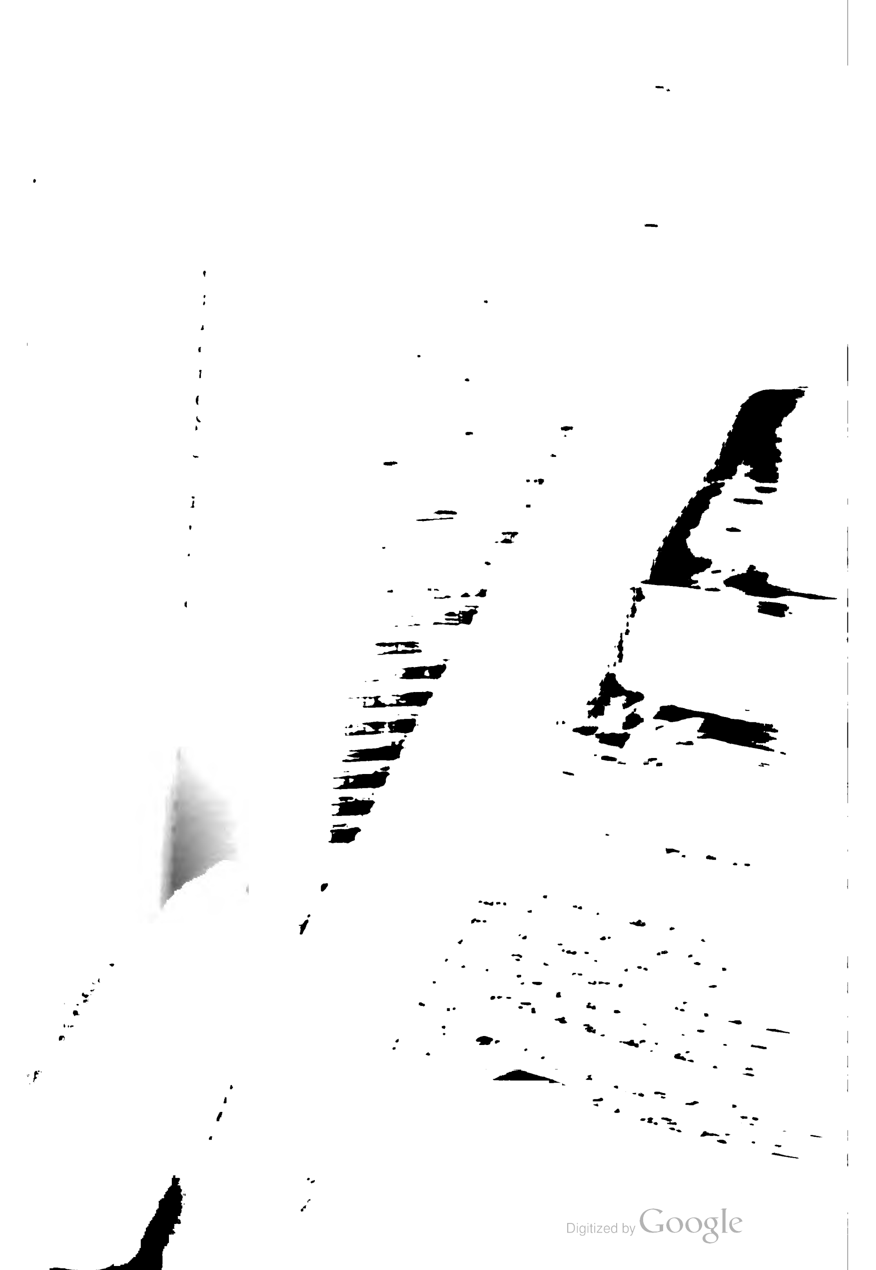
Les moûts ordinaires ne donnent pas souvent de la levure à leur surface. Le tour de main consiste en effet, à donner aux moûts un état assez mucilagineux ou visqueux, grâce auquel la bulle de gaz carbonique ne se détache pas facilement du globule de levure, et entraîne celui-ci à la surface.

Lorsqu'on met en route une fabrique de levure pressée, et qu'on ne possède pas encore de clairs de vinasse, la levure monte beaucoup moins facilement. L'addition des clairs de vinasse, l'acidité du moût et sa température, enfin la dose de dextrine laissée par la saccharification, sont quatre facteurs extrêmement importants qui exigent un dosage mathématique. La moindre modification abaisse le rendement; c'est ce qui explique pourquoi, dans une même usine, quand la surveillance du travail n'est pas suffisante, à côté d'une cuve qui rend bien, on en voit d'autres qui ne donnent presque rien. Les conditions physiques du moût ont une importance primordiale.

On remarquera que cette fabrication de levure n'a rien de scientifique, et qu'elle ne ressemble en rien aux méthodes employées en laboratoire par les Pasteur, Duclaux, Hansen et autres maîtres pour la production de la levure pure. En laboratoires, on procède toujours sur des moûts limpides ; dans ces conditions, toute la levure formée, soit qu'elle remonte à la surface, soit qu'elle tombe au fond, est de la bonne levure, pure, active, et dont la récolte ne présente pas de difficulté.

Au point de vue industriel, cette méthode pasteurienne présente un autre avantage : c'est qu'on évite les pertes, actuellement inévitables.

Il faut se souvenir en effet que, dans la méthode à moûts troubles, on écume la cuve en pleine fermentation. L'écumage enlève du liquide environ 10 % de ce qui existe dans la cuve, et ce liquide contient lui même du sucre encore non fermenté. Immédiatement dilué par le tamisage et le lavage, ce sucre est perdu ; il ne fera plus ni alcool, ni cellures de levures. Bien plus, il a de graves inconvénients, car il favorise les fermentations putrides. On ne se met pas complètement à l'abri de celles-ci malgré le refroidissement, car rien ne sent plus mauvais que les flegmes obtenus par la dis-

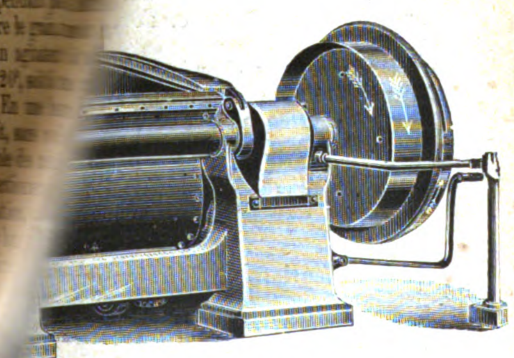


lieu à une grande proportion de . Nous croyons donc empêchent même la récolte de le leur signalant.

Cette cause étant connue, partie éviter l'excès de du grain, car dans ce cas lisé pourrait être saccharifié ment à plus basse température préalable n'a été que fort sance, et la raison en est sion donne au moût communique à la levure difficulté n'est cependant

Il suffit de cuire le cuiseur muni d'un rature de 110 à 120°, 1/2 kilogramme. En un empois parfait, coagulation sensible

Un autre dans cette fabri machine, systè des pâtes trop Aujourd'hui structeurs, sins du d'obten désir qu'o de



eur pour l'empâtage des levains, système Werner et Pfleiderer.

vail des matières renfermant nément des sucres et de l'amidon.

ruits, et surtout les patates que l'on ren- bondance en Italie, en Espagne et dans les s, sont une abondante source d'alcool, mais la particularité de renfermer environ 1 par- re pour 3 parties d'amidon ou fécule; à part omposition analogue à celle de la pomme de sucre en plus.

n opère comme pour la pomme de terre par sous pression, on caramélise une partie du u glucose qui, non seulement est perdu pour la

tillation des petites eaux de levures. Il s'en dégage des gaz véritablement infects, qui forcent à rectifier à part les alcools provenant de cette distillation.

En moûts clairs, rien de semblable, puisqu'on laisse la fermentation aller jusqu'au bout.

Nous avons déjà vu les tentatives de M. François Billet pour travailler à moût clair ; son procédé était tout à fait logique, et, si la levure ne se conservait pas aussi bien qu'une autre, cela provient sans doute de ce qu'à cette époque, on ne connaissait pas aussi bien qu'aujourd'hui, toutes les lois naturelles qui président à la culture de la levure. En particulier, M. Billet ne se servait pas d'injection d'air stérilisé, chose absolument indispensable quand on pousse à la prolification de la levure.

La voie est ouverte dans cette direction, et, depuis peu d'années, l'industrie allemande s'y est engagée résolument, et d'après nos renseignements les résultats obtenus sont des plus satisfaisants. Par ces procédés on arriverait à des rendements réels de 24 kil. de levure pure, et de 24 litres d'alcool à 100° par 100 kilogrammes de grains.

Le tour de main consiste dans la filtration des moûts avant fermentation. Grâce à un lavage convenable des clairs de vinasses, et à un rajouté d'acide minéral, la dissolution des matières albuminoïdes est assurée, et la filtration est rendue possible aux filtres-presses. Des filtres à amiante ou à cellulose complètent la clarification.

Le moût limpide est fortement aéré, et la fermentasion est très rapide. Au bout de douze heures seulement, elle est achevée. Au fond de la cuve, on trouve un fort dépôt de levure, qu'on lave et qu'on passe aux filtres-presses.

Ce procédé ne tardera sans doute pas à être importé en France.

En attendant, revenons encore à nos procédés actuels à moûts troubles, pour indiquer quelques prescriptions utiles.

A propos de la nécessité de laisser aux moûts une certaine viscosité, nous avons parlé de la proportion de dextrine. Il en faut un peu, mais un excès est un grave défaut, car les cuves riches en dextrines donnent

lieu à une grande proportion de mousses qui gênent et empêchent même la récolte de la levure.

Cette cause étant connue, on pourrait en grande partie éviter l'excès de dextrine par cuisson préalable du grain, car dans ce cas l'empois bien formé et stérilisé pourrait être saccharifié beaucoup plus complètement à plus basse température. Néanmoins, la cuisson préalable n'a été que fort peu employée à notre connaissance, et la raison en est que la cuisson à haute pression donne au moût une couleur jaunâtre, qui se communique à la levure et la rend peu vendable. Cette difficulté n'est cependant pas insurmontable.

Il suffit de cuire le grain, moulu demi-fin, dans un cuiseur muni d'un agitateur à palettes, à la température de 110 à 120°, soit à une pression maximum de 1/2 kilogramme. En une heure et demie, on obtient un empois parfait, sans couleur de caramel, et sans coagulation sensible des matières albuminoïdes.

Un autre perfectionnement important à introduire dans cette fabrication, est l'empâtage des levains à la machine, système longtemps repoussé comme donnant des pâtes trop claires, qui *coulaient* à l'acidification. Aujourd'hui, ce problème a été résolu par divers constructeurs, et nous donnons ici figures 82 et 83 les dessins du pétrisseur Werner et Pfleiderer, qui permet d'obtenir les levains encore plus concentrés si on le désire que ceux obtenus par le travail à la main, puisqu'on peut avec cet appareil faire couramment les pâtes de pain et de biscuit, mélanger des pâtes aussi dures que le mastic de minium.

Ces machines, que nous avons vu fonctionner avec plein succès, sont appliquées dans plusieurs fabriques de levure en Allemagne et en Angleterre, et peuvent être construites en divers grandeurs. Celle que nous avons vu travaillait en une seule opération 400 kilogrammes de farines, c'est-à-dire une quantité plus forte que celle que nous avons indiquée pour les levains à la main. Outre l'avantage de pouvoir donner des moûts plus épais, l'empâtage par la machine est beaucoup plus régulier, plus homogène. Enfin la durée de l'opération est considérablement diminuée, chaque opération ne deman-

dant que 12 à 15 minutes y compris le remplissage et la vidange de l'appareil.

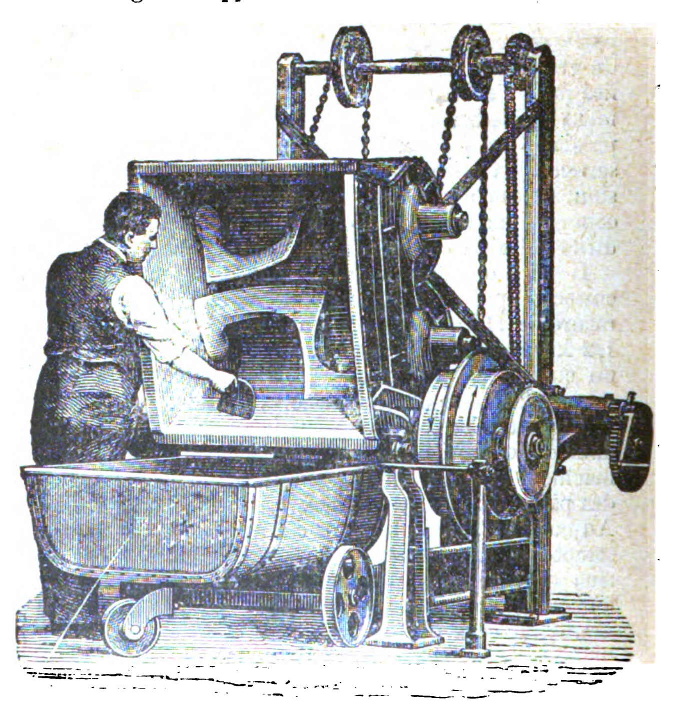


Fig. 82.— Pétrisseur renversé pour la vidange, et montrant les palettes.

A la main chaque empâtage demandait 3 à 4 hommes et une heure de travail, avec cette machine on peut facilement faire 4 à 5 empâtages à l'heure avec deux hommes seulement : l'un à la machine, l'autre pour transporter, à l'aide du chariot, les levains aux cuviers où s'opèrera la saccharification et l'acidification lactique.

On voit donc l'avantage et l'économie de main-d'œuvre que procure cet appareil peu connu en France,

du moins dans notre industrie. Nous croyons donc rendre service à nos lecteurs en le leur signalant.

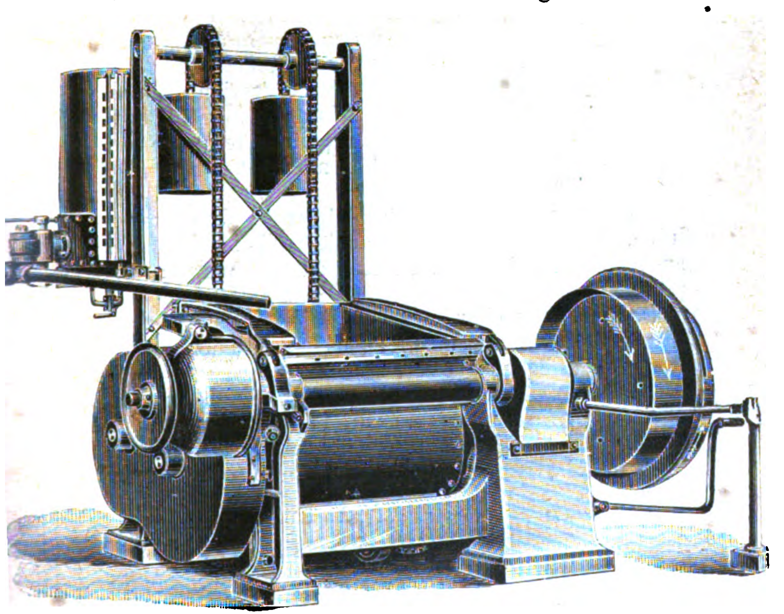


Fig. 83. — Pétrisseur pour l'empâtage des levains, système Werner et Pfleiderer.

(203) *Travail des matières renfermant simultanément des sucres et de l'amidon.*

Certains fruits, et surtout les patates que l'on rencontre en abondance en Italie, en Espagne et dans les pays chauds, sont une abondante source d'alcool, mais présentant la particularité de renfermer environ 1 partie de sucre pour 3 parties d'amidon ou fécule ; à part cela une composition analogue à celle de la pomme de terre, le sucre en plus.

Si l'on opère comme pour la pomme de terre par cuisson sous pression, on caramélise une partie du sucre ou glucose qui, non seulement est perdu pour la

production d'alcool, mais encore gêne les fermentations et donne à l'alcool un goût de cuit très désagréable.

On tourne facilement cette difficulté en soumettant d'abord les tubercules coupés en cossettes à une macération ou diffusion qui enlève le sucre et les matières solubles. La pulpe sortant de cette opération est alors cuite dans un cuiseur sous pression, saccharifiée, et le moût réuni au jus de diffusion pour la fermentation. Par cette double opération, le rendement et la qualité sont considérablement améliorés.

On pourrait encore, après l'enlèvement du sucre soluble, procéder à la diffusion acide de l'amidon par le système Bondonneau et Foret que nous avons détaillé plus haut.

Dans les pays chauds, où se fait ordinairement le travail des patates, les acides sont généralement chers, l'orge est difficile à malter, on a donc recours le plus souvent au maïs qui germant à 27°-28° donne un malt, environ moitié moins actif que le malt d'orge, mais de très bonne qualité néanmoins. D'ailleurs le maïs est à bon marché dans les pays à patate, alors que l'orge y est rare.

Ces opérations de diffusion du sucre et de saccharification des cossettes, se font ainsi que nous l'avons indiqué respectivement pour les betteraves et pour les pommes de terre.

(204) *Fabrication des Anis.*

Les eaux-de-vie anisées, ou *anisades*, qui sont surtout consommées en Espagne et dans les contrées du midi, sont simplement des distillats d'une infusion d'anis vert dans l'alcool. On les produit, dans la petite industrie, en distillant le mélange dans un alambic simple à double fond.

Pour les productions plus importantes, on a recours aux boîtes à aniser qui se composent d'une boîte en cuivre, étamée intérieurement, et renfermant un panier de même métal où se dispose la charge d'anis. Il suffit d'interposer un semblable appareil sur le col de cygne d'un appareil à distiller ou à rectifier, pour que les vapeurs, traversant de bas en haut cette couche d'anis, lui

enlèvent ses parfums et ses essences avant d'aller au réfrigérant.

Mais par cette disposition, il y a forcément condensation partielle dans la boîte à aniser, et par suite, une rétrogradation à laquelle il faut ménager une rentrée dans la colonne.

Ceci n'a pas grand inconvénient si l'appareil ne doit fabriquer que de l'anis, mais dans le cas contraire il faut renoncer à cette disposition, car tout l'alcool, qu'on voudrait distiller dans cette colonne pour d'autres usages, prendrait la même odeur.

La figure 84 représente une disposition qui évite ce grave inconvénient et assure la continuité. Les vases 1 et 2 sont les boîtes à aniser que l'on peut faire travailler en batterie, ou isoler pour le temps nécessaire au changement des paniers, lorsque l'anis est épuisé.

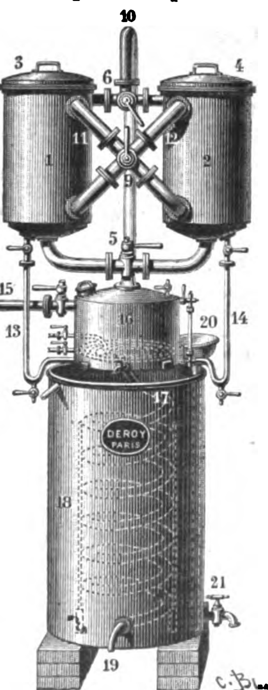


Fig. 84. — Anisateur continu, système Deroy.

Les vapeurs d'alcool sortant de la colonne arrivent par le tuyau 15, traversent le récipient des rétrogradations 16 et par le robinet 5 sont envoyées alternativement dans l'une des deux boîtes. Le robinet 9 permet de faire traverser à volonté les deux boîtes, ou une seule, par les vapeurs alcooliques qui, imprégnées d'odeur d'anis viennent par le robinet 6 et le tuyau 10, se condenser dans le serpentin 17.

Les rétrogradations qui proviennent des deux boîtes, au lieu de rentrer dans la colonne, se rendent par les tubes 13 et 14 dans le

récipient 16, où un petit serpentin de vapeur les volatilise à nouveau pour les renvoyer avec les vapeurs alcooliques directes dans les boîtes à aniser. Cet anisateur peut donc rendre de grands services pour les fabrications mixtes.

On ne peut, en effet, songer à extraire à part ces rétrogradations, car si les boîtes sont chargées d'anis, ces rétrogradations coulent vertes, si au contraire elles sont chargées de genièvre, les rétrogradations sortent jaunes ; de plus elles ont au goût une âcreté insupportable, ce sont des infusions et non plus des distillats, et qui, tant par la couleur que par le goût, rendraient l'anis et le genièvre invendables.

Ce que nous venons de dire de l'anis ne s'applique pas à l'anisette, produit renfermant du sucre, qui est une véritable liqueur du domaine du liquoriste et non plus du distillateur.

(203) *Fabrication du genièvre et du whisky.*

Nous dirons quelques mots seulement de ces fabrications dont la dernière est à peu près étrangère à la France.

Les *genièvres* ou *gins* étaient, à l'origine, produits en introduisant des baies de genièvre écrasées dans les cuves de fermentation avec des moûts de grains préparés d'une façon analogue aux anciens procédés de la brasserie ; on introduisait même souvent dans ces moûts une certaine quantité de décoction de houblon qui, comme l'on sait, est un très bon antiseptique contre le ferment butyrique. Le sucre contenu dans les baies de genièvre fermentait en même temps que celui du moût ; l'alcool produit dissolvait l'essence contenue dans le fruit. Aussi par la distillation, obtenait-on un alcool ayant, outre le goût de genièvre, le goût du grain, et possédant souvent un arôme spécial dû au houblon.

Aujourd'hui ce procédé est à peu près complètement abandonné ; on se contente de faire passer les vapeurs sortant de la colonne dans une boîte à aniser (figure 84), dont nous venons de voir la description, et qui renferme des baies de genièvre. Mais le plus souvent, après une première distillation, les baies de genièvre sont

mises à macérer dans le flegme ramené à environ 40°, et le tout est porté dans un alambic simple. Les premières parties sont mises à part ; vers la fin on fait aussi une petite sélection au moment où le liquide de l'éprouvette est opalin par la présence d'une forte proportion de fusel. Quant à l'épuisement, certaines usines le font couler dans le bac à genièvre, afin de corser son bouquet de genièvre et de seigle, ces odeurs passant à la distillation à la fin de l'opération. Quelquefois même, comme dans l'industrie des eaux-de-vie, on remet dans la chaudière une charge d'alcool d'industrie pour faire une seconde distillation en présence des eaux résiduaires.

Le titre normal du genièvre est 49 degrés. Un bon genièvre doit posséder le goût du grain, et pour cela l'alcool de grains demi-rectifié a la préférence pour cette fabrication.

L'alcool de grains destiné à la fabrication des fameux genièvres de Hollande est en général obtenu par un mélange de blé et de seigle moulus, puis cuits à l'air libre ou sous pression, en ce dernier cas, à pression assez faible et avec un peu d'acide pour diminuer le temps de cette cuisson. L'empois obtenu est versé dans un macérateur et additionné d'une assez forte proportion de malt d'orge (Belgique et Hollande) ou de malt d'avoine (Angleterre) et le tout saccharifié ; environ 30 kilogrammes de malt par hectolitre de grains. En Hollande, on travaille toujours les moûts *en levure*, et l'on récolte simultanément la levure pure. Dans certaines fabriques, une partie de l'eau nécessaire à l'empâtage est remplacée par une décoction de houblon.

Pour développer le goût spécial que désirent les consommateurs, le malt employé est préparé de façon particulière : à la germination on laisse la plumule se développer jusqu'à 1 fois 1/2, quelquefois même 2 fois la longueur du grain, puis l'on touraille en poussant la température assez haut pour produire une caramélisation superficielle des grains. On voit donc que ce malt est assez faible, d'une part une partie de la diastase étant rétrogradée, de l'autre la diastase des parties extérieures des grains subissant forcément le sort des sucres caramélisés.

Aussi, malgré la forte proportion de malt, la saccharification est-elle assez lente. Le reste des opérations fermentation et distillation ne présente pas de particularités remarquables. On ne fait qu'une demie rectification seulement.

Les grains ne sont pas seuls employés à la fabrication des alcools destinés aux genièvres. En Belgique, on y emploie aussi les mélasses, mais alors on fait un pied de cuve ou levain renfermant 5 kilogrammes de grains, par hectolitre de moût de mélasse à fermenter. Inutile d'ajouter que ces genièvres à bon marché sont de qualité tout à fait inférieure.

Whisky. — Le whisky est encore un alcool de grains, mais sans genièvre, et qui doit son arôme particulier au mode de fabrication du malt. Cet alcool, qui donne aux consommateurs non habitués une sensation désagréable de goût de marc et de bois de chêne, est obtenu tantôt avec du malt d'orge pur, tantôt avec un mélange de grains et de malt, tantôt avec du blé, tantôt avec de l'avoine crue ou maltée.

Ces différences de travail donnent des produits de goûts différents en Angleterre, en Écosse et aux États-Unis; le seul point de ressemblance est un goût de fumée obtenu en touraillant le malt employé avec des combustibles très fumeux, en Écosse avec des tourbes.

Comme les eaux-de-vie de vin, ces alcools demandent un vieillissement assez long, au moins 3 à 4 années, de fût avant d'être livrés à la consommation. Alors cet arôme se fond avec les éthers; les odeurs amyliques disparaissent, le liquide prend le goût de bois, et il reste une certaine odeur de grain fort appréciée des amateurs. Comme pour le cognac les fûts doivent être en chêne blanc, mais préparés et carbonisés intérieurement d'une façon spéciale.

(**206**) *L'acide carbonique de fermentation.*

L'acide carbonique qui se dégage pendant la fermentation a longtemps passé et passe encore auprès de beaucoup de gens comme jouissant de la curieuse propriété d'être plus soluble dans les liquides sucrés

que l'acide carbonique produit par la réaction des acides sur les carbonates. Les boissons gazeuses faites avec ce gaz de fermentation *gardent la mousse*, suivant l'expression consacrée, tout comme les champagnes de bonnes marques et les cidres mousseux naturels, tandis que les boissons gazeuses faites avec les appareils à eau de seltz ordinaires laisseraient dégager immédiatement leur gaz sans mousse persistante dans le verre.

Cette différence est contestée par M. Maumené qui a prouvé l'identité des deux gaz, et obtenu les mêmes résultats avec l'acide dégagé des carbonates et suffisamment purifié. Quoiqu'il en soit, plusieurs brevets ont été pris en Allemagne pour utiliser cette soi-disant propriété, et des distilleries ont fait de coûteuses installations pour employer leur acide carbonique à la champanisation et à la fabrication des limonades et boissons gazeuses. Nous avons vu deux de ces installations fonctionnant à l'étranger et non sans succès.

Mais en dehors de cette propriété contestable et contestée, il est incontestable que l'acide carbonique dégagé par la fermentation entraîne avec lui de l'alcool et des arômes originels qu'il enlève à la matière première des cuves, et qu'il entraîne d'autant plus de ces produits que la température de fermentation est plus élevée.

Plusieurs auteurs, et entre autres M. G. Jacquemin (1) ont proposé de refroidir et de laver le gaz pour lui reprendre alcool et parfums, avant de le laisser échapper dans l'atmosphère.

Pour cela la fermentation doit être faite en cuves fermées, et l'acide carbonique dégagé des cuves se rend dans un gros tuyau collecteur. On s'aide au besoin d'une pompe à gaz pour éviter la pression dans les cuves. Le gaz est alors refroidi puis dirigé dans des bacs disposés en série de Woolf, où il barbotte dans de l'alcool coupé à 50° G. L. Cet alcool doit être maintenu à basse température pour éviter de nouvelles pertes, et alors se charge fortement en arômes.

Ce procédé est tout particulièrement recommandable

(1) *L'Alcool et le Sucre,* 1re année, pages 20 et 116.

pour la fabrication des eaux-de-vie, rhums, genièvres whisky auxquels il communique une puissante odeur d'origine ; mais à cause des difficultés que nous avons signalées pour la fermentation en cuves fermées, celle-ci devra être surveillée avec le plus grand soin et nous conseillons dans ce cas de ne travailler qu'avec des levures pures appropriées.

Si, en effet, de fausses fermentations se déclaraient dans ces cuves, leurs mauvaises odeurs se communiqueraient à l'acide carbonique, et outre les pertes provenant de la mauvaise cuve, on aurait à redouter de gacher l'alcool de barbotage au lieu de l'améliorer. C'est donc là un excellent procédé, mais qui, plus encore que les autres, demande de grands soins et une surveillance rigoureuse.

TABLE DES FIGURES

PLANCHES

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

Renseignements généraux.

Pages

CHAPITRE PREMIER

Documents mathémathiques.

CHAPITRE II

Documents commerciaux.

CHAPITRE III

Documents relatifs à la construction.

CHAPITRE IV

Documents relatifs à la physique.

1° Chaleur.

Pages

2° Densités et jaugeage des vases

3° Aréométrie

CHAPITRE V

Documents relatifs à la chimie.

1° Tables

2° Hydrotimétrie. — Alcalimétrie

3° Dosage des sucres

DEUXIÈME PARTIE

Théorie.

CHAPITRE PREMIER

L'Alcool et les matières alcooligènes.

CHAPITRE II

Alcoométrie. — Analyse de l'alcool.

1° Dosage de l'alcool

2° Recherche des impuretés

Pages

CHAPITRE III

La Fermentation.

1° La levure

2° Les ferments solubles

3° Races diverses des levures et ferments nuisibles

CHAPITRE IV

Distillation et Rectification.

1° La distillation en général

2° Colonnes distillatoires a bas degré

3° Rectification

4° Rectification continue

TROISIÈME PARTIE

Pratique

CHAPITRE PREMIER

Les Eaux-de-vie.

CHAPITRE II

Distillation des betteraves.

Pages

CHAPITRE III

Distillation du Topinambour.

CHAPITRE IV

Distillation des mélasses.

CHAPITRE V

Saccharification des matières amylacées.

CHAPITRE VI

Fermentation et distillation des matières amylacées.

CHAPITRE VII

Distillations spéciales.

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

NOTES

Paris. — Imprimerie E. BERNARD et Cie, 23, rue des Grands-Augustins.

Pl. II.

liquide est d ux données permettent de déter-

95°,0 = 94°,

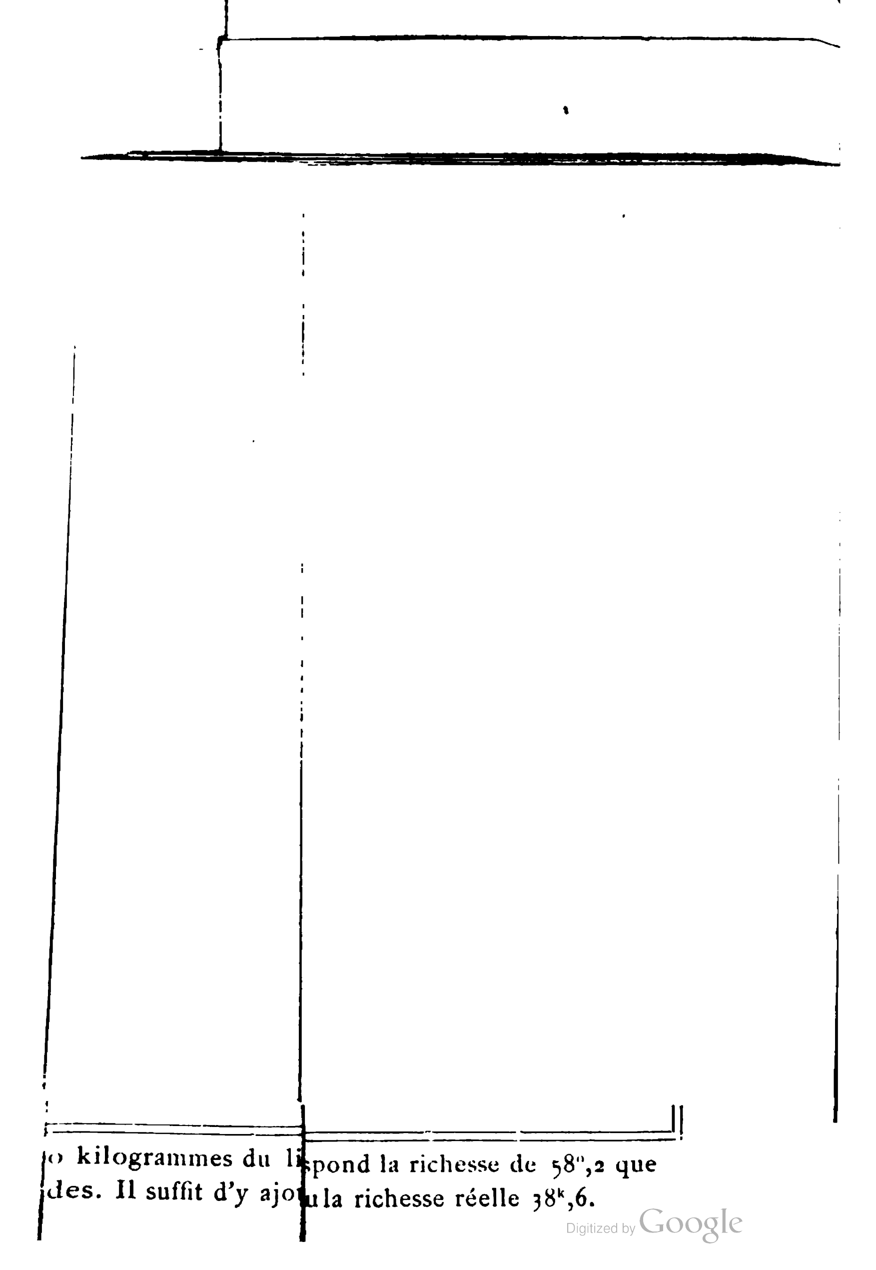
NOTES

…IQUES GIE)

…squ'à 50°

6	27	28	29	30	45	46	47	48	49	50	

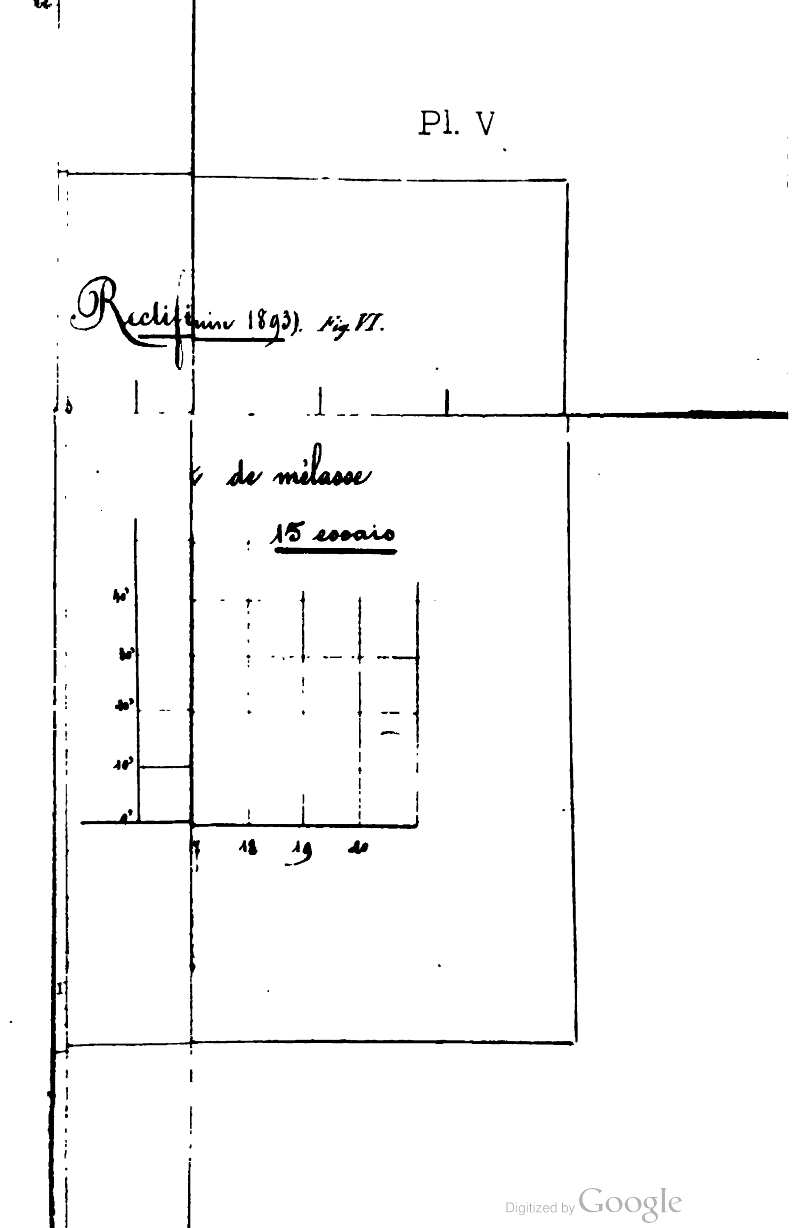
…des. Il suffit d'y ajou… la richesse réelle 38k,6.

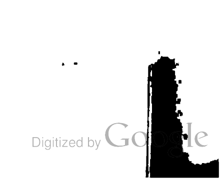


o kilogrammes du li[...]pond la richesse de 58",2 que
des. Il suffit d'y ajo[...]u la richesse réelle 38k,6.



Pl. V





Digitized by Google

Maison

HETZEL FRÈRE

32, Rue du Marché, BRUXELLES

Spécialité d'Appareil

POUR

BRASSERIES, MALTERIES & DISTILLERI

Envoi Franco sur Demande Catalogues et Renseignements

PIERRE LEGRAND

Inventeur breveté s.g.d.g.

PARIS — 53, boulevard Picpus, 53 — PARI

MÉDAILLE D'OR

FUTS ET TONNEAUX EN FER

POUR LOGER, CONSERVER ET TRANSPORTER TOUS LES LIQUID

Alcools, Mélasses, Sirops chands et froids

FUTS

POUR

l'acide sulfurique



TONNEAUX

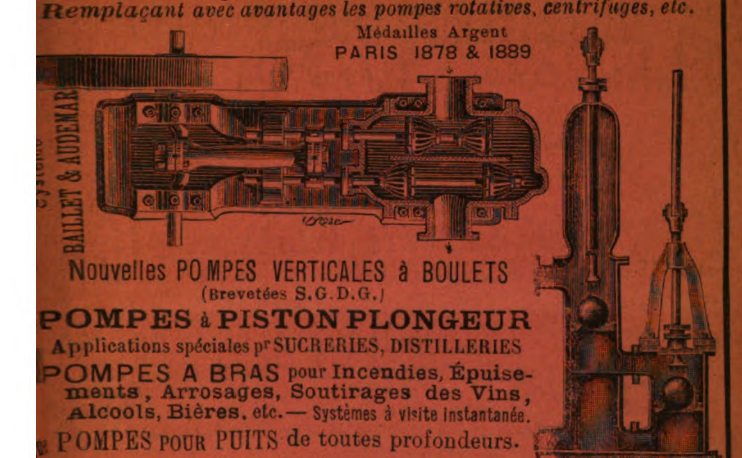
POUR

le vin

EN TOLE NUE, ÉTAMÉE ET GALVANISÉE

Remplaçant avec avantages les pompes rotatives, centrifuges, etc.

Médailles Argent
PARIS 1878 & 1889



Nouvelles POMPES VERTICALES à BOULETS
(Brevetées S.G.D.G.)

POMPES à PISTON PLONGEUR

Applications spéciales pr SUCRERIES, DISTILLERIES

POMPES A BRAS pour Incendies, Épuisements, Arrosages, Soutirages des Vins, Alcools, Bières, etc. — Systèmes à visite instantanée.

POMPES POUR PUITS de toutes profondeurs.

AUDEMAR-GUYON A DOLE (JURA)

Catalogue illustré (franco) sur demande

MAISON JULES DUBOSCQ, O. ✱ ✠ A. ✿

Fondée en 1819 par **SOLEIL**, père, *Inventeur du Saccharimètre.*

PH. PELLIN ✱ ✠ A ✿ Diplômes d'honneur — Ingénieur des Arts et Manufactures

Saccharimètres Soleil. — Saccharimètres à pénombres. — Saccharimètres à pénombres à compensateur Soleil à lumière blanche.

SACCHARIMÈTRES POUR DIFFUSION

se transformant en saccharimètre Soleil ou à pénombres, avec série de tubes de 10 à 50 centimètres.

COLORIMÈTRES, SPECTROSCOPES et tous instruments d'optique et d'électricité

21, RUE DE L'ODÉON, 21 — PARIS

Librairie E. BERNARD & Cie, 53ter, Quai des Grands-Augustins

Questions d'Alcoométrie. — Une Réforme indispensable. — Comparaison entre l'alcoométrie volumétrique et l'alcoométrie pondérale. *Brochure in-8°.* Prix **3** fr. **50**

BOIRE. — La Distillerie. Avant-propos. — Matériel et procédés de l'industrie de l'alcool. *Grand in-8°.* Prix **3** fr.

JACQUEMIN (Georges). — Étude des perfectionnements apportés dans la culture et l'emploi des levures destinées à la production des boissons alcooliques. Prix **2** fr.

Les levures pures de vin en distillerie. Prix **1** fr. **25**

MAUMENÉ (E.). — Traité théorique et pratique du **Travail des Vins**. L'ensemble de l'Ouvrage comprend deux volumes grand in-8° de 500 pages environ avec plus de 150 figures. *Prix de l'Ouvrage complet.* **30** fr.


Digitized by Google

3e ANNÉE

L'Alcool et le Sucre

ORGANE DES INDUSTRIES AGRICOLES, DISTILLERIES, SUCRERIES, FÉCULERIES

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS ET DE SPÉCIALISTES

REVUE MENSUELLE ILLUSTRÉE